



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**STUDI RANCANG BANGUN MESIN *SINGLE SCREW EXTRUDER PORTABLE* UNTUK APLIKASI PRODUKSI FILAMENT 3D PRINTER**

**GIRSANG GARSIMAN**  
**NRP. 025114000060**

**Dosen Pembimbing**  
**Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.**  
**Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **STUDY DESIGN OF PORTABLE SINGLE SCREW EXTRUDER MACHINE FOR 3D PRINTER FILAMENT PRODUCTION APPLICATION**

**GIRSANG GARSIMAN**  
**NRP. 0251140000060**

**Advisor**

**Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.**  
**Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMEN OF MATERIALS ENGINEERING**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2018**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**STUDI RANCANG BANGUN MESIN *SINGLE SCREW*  
EXTRUDER PORTABLE UNTUK APLIKASI PRODUKSI  
FILAMENT 3D PRINTER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**GIRSANG GARSIMAN**  
NRP. 02511440000060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.....(Pembimbing 1)

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si..... (Pembimbing 2)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **STUDI RANCANG BANGUN MESIN *SINGLE SCREW EXTRUDER PORTABLE* UNTUK APLIKASI PRODUKSI FILAMENT 3D PRINTER**

**Nama Mahasiswa** : Girsang Garsiman  
**NRP** : 02511440000060  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si

## **Abstrak**

*Proses manufaktur dengan menggunakan metode 3D printing saat ini berkembang dengan sangat pesat. Material yang paling banyak digunakan dalam produksi menggunakan metode 3D Printer ini yaitu material polimer. Material polimer umumnya diproduksi dengan metode ekstrusi. Untuk pengaplikasian sebagai filament feed dalam proses 3D Printing, dilakukan proses ekstrusi menggunakan screw extruder untuk mendapatkan filament yang kontinyu. Dalam proses ekstrusi nya, ada beberapa kondisi ekstrusi yang harus dipenuhi. Seperti temperatur leleh, pembagian zona pada ekstruder, jenis screw, tekanan, shear rate dan feedrate. Untuk ekstrusi polimer dan komposit, desain dan konstruksi screw dan barrel merupakan pertimbangan penting yang menentukan kualitas hasil akhir produk ekstrusi sehingga untuk menjawab permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan mesin single screw extruder portable yang optimal untuk produksi filament 3D Printer. Dari hasil desain, didapatkan kapasitas produksi mesin sebesar 1.3 kg/jam dengan total energi listrik yang dibutuhkan sebesar 612 watt. Untuk proses produksi filament ABS digunakan temperatur 210 °C dengan putaran screw pada kecepatan 6,66 RPM. Hasil pengujian extrudat didapatkan diameter yang seragam sebesar 1,75 mm. hasil perhitungan production cost untuk produksi 1 kg filament*

*yaitu Rp.11.776 sehingga dapat dikatakan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan produk konvensional.*

***Kata kunci: 3D Printer, Filament, Ekstrusi, Ekstruder***

# **STUDY DESIGN OF PORTABLE SINGLE SCREW EXTRUDER MACHINE FOR 3D PRINTER FILAMENT PRODUCTION APPLICATION**

**Student's Name** : Girsang Garsiman  
**NRP** : 02511440000060  
**Departement** : Material EngineeringDepartement  
**Advisor** : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si

## **Abstract**

*The manufacturing process using 3D printing method is currently growing very rapidly. The most widely used material in production using this 3D Printer method is the polymer material. Polymeric materials are generally produced by extrusion methods. For application as filament feed in 3D Printing process, extrusion process is done using screw extruder to obtain continuous filament. In its extrusion process, there are some extrusion conditions that must be noted. Such as melting temperature, zone classification on extruder, screw type, pressure, shear rate and feeding rate. For polymer and composite extrusion, the design and construction of screw and barrel is necessary to achieve the final product end result for these conditions, in this research will be designed the optimal single screw extruder machine portable for 3D filament printer production. From the desig, obtained the production capacity of the machine of 1.3 kg / hour with the total electrical energy required for 612 watts. For the filament production process. For ABS filament production process used temperature 210 °C with rotation screw at speed 6.66 RPM. The extrudate test results found a uniform diameter of 1.75 mm. the calculation of production cost for the production of 1 kg filament that is*

*Rp.11.776 so it can be said more economical when compared with conventional products.*

***Keywords: 3D Printer, Filament, Extrusion, Extruder***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul “**Studi Rancang Bangun Mesin *Single Screw Extruder Portable* Untuk Aplikasi Produksi Filament 3D Printer**”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk menyelesaikan mata kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, diantaranya:

1. Kedua orang tua serta kakak dan adik penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moril dan materil, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi kepada penulis
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Widyastuti selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Agung Purniawan selaku Kepala Departemen Teknik Material.
4. Teman-teman Antasena Team ITS yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Ade Siti Fatimah yang selalu memberikan dukungan dalam berbagai kondisi yang dialami penulis.

Penulis pun menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis memohon maaf dan dengan senang hati menerima saran dan kritik yang membangun. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak yang membaca.

Surabaya, Juni 2018

Penulis,

Girsang Garsiman

0251144000006



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
Abstrak .....	vii
Abstract .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Extruder .....	5
2.1.1 Single Screw Extruder.....	6
2.2 Sistem Penggerak Ekstruder.....	7
2.2.1 Sistem Penggerak Motor Listrik AC .....	7
2.2.1.1 Mechanical Adjustable Speed Drive .....	7
2.2.1.2 Electric Friction Clutch .....	8
2.2.2 Sistem Penggerak Motor DC.....	8
2.2.3 Sistem Penggerak Hidrolik.....	9
2.3 Feed Hopper .....	10
2.4 Extruder Screw .....	10
2.5 Extruder Dies.....	12
2.5.1 Screens and Screen Changers .....	12
2.6 Elemen Pemanas Elektrik.....	12
2.6.1 <i>Resistance Heating</i> .....	12
2.7 Pengukuran Temperatur .....	13

2.8	Pengukuran Tekanan .....	15
2.9	Feed Material.....	18
2.9.1	Sifat Bulk Material .....	18
2.9.1.1	Bulk Density.....	18
2.9.1.2	Koefisien Gesek.....	20
2.9.1.3	Ukuran dan Bentuk Partikel .....	20
2.10	Thermal Characterization .....	21
2.10.1	DTA dan DSC .....	22
2.10.2	TGA.....	22
2.10.3	TMA .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1	Diagram Alir Perancangan Mesin <i>Single Screw Extruder Portable</i> .....	21
3.2	Konsep Desain.....	25
3.3	Pra-Desain Single Screw Extruder Portable .....	26
3.3.1	Sistem Penggerak .....	27
3.3.2	Desain Screw .....	28
3.4	Simulasi Thermal.....	29
3.5	Kecepatan Screw Conveying.....	31
3.6	Material Density .....	31
3.7	Rate of Production per Hour.....	32
3.8	Biaya Produksi.....	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Rancangan Dasar .....	31
4.2	Desain Screw Extruder .....	36
4.3	Desain Barrel Extruder .....	38
4.4	Dies Assembly.....	42
4.4.1	Breaker Plate .....	42
4.4.2	Dies.....	43
4.4.3	Dies Housing .....	44
4.5	Motor Listrik .....	45
4.6	Validasi Produk .....	47

4.7	Biaya Produksi.....	48
4.8	Filament Spool Guide.....	49
4.8	Filament Winder.....	51
4.9	Filament Puller .....	52
4.10	Total Kebutuhan Daya Listrik.....	53
4.11	Rancangan Production Line Filament 3D Printer.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		xix
LAMPIRAN .....		xxii
BIODATA PENULIS.....		xxiii

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Geometri Ekstruder Screw Konvensional.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Eddy-Current Clutch</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Skematik DC Motor.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Kurva Efisiensi Motor Torsi Tinggi, Kecepatan Rendah.....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Desain Hopper yang Baik dan Buruk.....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Beberapa Bentuk <i>Thermistor</i> .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Skema Aplikasi Sensor IR Pada Ekstrudat.....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Tekanan, Throughput, dan Dimensi Sebagai Fungsi Waktu.....	15
<b>Gambar 2.9</b>	Prinsip Kerja <i>Strain Gauge Transducer</i> .....	16
<b>Gambar 2.10</b>	<i>Capillary</i> (Kiri) dan <i>Pushrod Type</i> (Kanan).....	17
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Crammer Feeder</i> .....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Dua Jenis Konfigurasi Untuk Mengatasi Material Densitas Rendah.....	18
<b>Gambar 2.13</b>	Tata Nama Berdasarkan Ukuran Partikulat....	19
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Perancangan Mesin.....	22
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Ekstrusi Material.....	22
<b>Gambar 3.3</b>	Pembagian Zona <i>Single Screw Extruder</i> .....	23
<b>Gambar 3.4</b>	Skematik Penggerak DC Motor.....	25
<b>Gambar 3.5</b>	Hasil Pengukuran Bulk Density.....	28
<b>Gambar 3.6</b>	Keterangan Dimensi Screw.....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Desain 2 Dimensi <i>Screw</i> .....	35
<b>Gambar 4.2</b>	Desain 3 Dimensi <i>Screw</i> .....	35
<b>Gambar 4.3</b>	Deformasi Ketika Diberi Beban.....	36
<b>Gambar 4.4</b>	Desain Barrel dan <i>Thermal Barrier</i> .....	39
<b>Gambar 4.5</b>	Distribusi Temperatur Pada Flange.. ..	41
<b>Gambar 4.6</b>	Geometri <i>Feed Hopper</i> .....	42
<b>Gambar 4.7</b>	Geometri <i>Breaker Plate</i> .....	43
<b>Gambar 4.8</b>	Geometri <i>Dies</i> .....	44

<b>Gambar 4.9</b>	<i>Geometri Dies Housing</i> .....	45
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Desain Worm Gear</i> .....	50
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Assembly Spool Guide</i> .....	50
<b>Gambar 4.12</b>	<i>Spool Disc Holder</i> .....	51
<b>Gambar 4.13</b>	<i>Motor Arm</i> .....	52
<b>Gambar 4.14</b>	<i>Desain Filament Puller</i> .....	53
<b>Gambar 4.15</b>	<i>Diagram Alir Proses Produksi Filament 3D Printer</i> .....	54
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Mesin Single Screw Extruder Portable</i> .....	54

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Ekstruder Polimer.....	5
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi Beberapa Material Screw Ekstruder.....	11
<b>Tabel 2.3</b> Sifat Mekanik Material Screw.....	11
<b>Tabel 2.4</b> Perbandingan Beberapa Jenis Media Filter.....	12
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan Beberapa Jenis Sensor Temperatur....	14
<b>Tabel 2.6</b> Perbandingan Jenis-jenis <i>Pressure Transducer</i> .....	16
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi Material Screw Extruder.....	25
<b>Tabel 3.2</b> Sifat Mekanik Material Screw.....	26
<b>Tabel 3.3</b> Property Beberapa Material Polimer.....	27
<b>Tabel 4.1</b> Data Desain <i>Single Screw Extruder</i> .....	34
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Simulasi <i>Thermal Barrier</i> Ekstruder.....	38
<b>Tabel 4.3</b> Komponen elektrik dan total daya .....	49

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Proses manufaktur dengan metode 3D printing saat ini berkembang dengan sangat pesat. Teknologi ini memberikan kelebihan yaitu dapat membuat geometri yang kompleks dari berbagai macam jenis material mulai dari plastik, keramik, hingga logam dapat menggunakan metode ini. Material yang paling banyak digunakan dalam produksi menggunakan metode 3D Printer ini yaitu material polimer *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) karena memiliki kelebihan yaitu ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia, ketangguhan tinggi, serta hasil akhir permukaan yang mengkilap. Adapun material selain ABS yang juga banyak digunakan sebagai filament yaitu *Polylactic-Acid* (PLA) akan tetapi, PLA merupakan material yang dapat terurai secara alami atau *Bio-degradable* sehingga dalam pengolahan limbah hasil 3D printing, yang menjadi perhatian adalah material ABS. Material *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) adalah salah satu jenis termoplastik yang banyak digunakan karena sifat mekanik dan fisis yang baik. Sifat ini dihasilkan oleh amorphous blend dari tiga jenis monomer yaitu *Acrylonitrile*, *Butadiene*, dan *Styrene*. *Acrylonitrile* pada ABS meningkatkan ketahanan terhadap bahan kimia dan ketahanan thermal. *Butadiene* berkontribusi dalam menambahkan ketangguhan dan kekuatan impak pada plastik. *Styrene* memberikan efek mengkilap pada permukaan plastik. Keunggulan dari material ABS inilah yang membuat material ini banyak dipakai, seperti pada perabotan rumah tangga, sparepart otomotif, perangkat elektronik, dan untuk aplikasi 3D printing.



Material polimer umumnya diproduksi dengan metode ekstrusi. Untuk pengaplikasian sebagai filament feed dalam proses 3D Printing, dilakukan proses ekstrusi menggunakan *screw extruder* untuk mendapatkan filament yang kontinu. Dalam proses ekstrusi nya, ada beberapa kondisi ekstrusi yang harus dipenuhi. Seperti temperatur leleh, pembagian zona pada ekstruder, jenis screw, tekanan, shear rate dan feedrate. Akan tetapi, mesin ekstruder pada umumnya memiliki ukuran yang cukup besar, harga yang cukup mahal, dan sistem instrumentasi yang sangat lengkap sehingga butuh pengetahuan lebih untuk dapat mengoprasikan mesin tersebut. Atas dasar masalah ini, kemudian dilakukan penelitian tentang rancang bangun mesin single screw extruder untuk aplikasi produksi filament 3D Printer.

Pada penelitian sebelumnya Elvers (2016) dan Rorres (2000) mengatakan bahwa ekstruder memiliki banyak bidang pengaplikasian seperti industri makanan, keramik, polimer, dan metal dimana *screw* pada mesin ekstruder merupakan inti dari proses ekstrusi. Untuk ekstrusi polimer dan komposit, desain dan konstruksi *screw* dan *barrel* merupakan pertimbangan penting yang menentukan kualitas hasil akhir produk ekstrusi. Menurut J. Vlachopoulos dan D.Strutt (2003) usaha masa depan yang dapat dilakukan adalah merancang dan mengoptimasi proses produksi dengan fokus produk berbasis polimer karena tingginya penggunaan produk ini untuk kebutuhan sehari-hari manusia sehingga dibutuhkan langkah lanjut untuk daur ulang plastik. Sehingga untuk menjawab permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan mesin *single screw extruder portable* yang optimal untuk produksi filament 3D Printer..



## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang desain mesin *single screw extruder portable* yang optimal untuk untuk proses produksi filament *3d printer* ?
2. Bagaimana menganalisis kondisi operasi yang tepat untuk ekstrusi material *ABS* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar didapat hasil yang baik dan sesuai tujuan perancangan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Fluktuasi temperature dies dan barrel pada mesin *single screw extruder* yang diakibatkan kondisi lingkungan dianggap konstan
2. Temperature pendinginan filament pada ruangan dianggap konstan 27°C

## 1.4 Tujuan penelitian

Dari rumusan masalah yang ada maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang mesin *single screw extruder portable* yang optimal untuk ekstrusi *ABS*
2. Menganalisis kondisi operasi yang tepat untuk proses ekstrusi *ABS*

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain mesin *single screw extruder portable* yang optimal untuk produksi filament *3d printer* dan dapat menjadi dasar dalam proses manufaktur mesin *single screw extruder portable*.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Extruder

Ekstruder dalam industri polimer memiliki berbagai macam desain. Keragaman jenis ekstruder ini berdasarkan dari mode operasi nya yaitu kontinyu atau diskontinyu. Ekstruder kontinyu memiliki bagian yang berputar sedangkan ekstruder yang diskontinyu memiliki bagian yang bergerak maju mundur (reciprocating) klasifikasi jenis-jenis ekstruder ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Klasifikasi ekstruder polimer (*plastic machinary and equipment, 1982*)

Screw extruders (continuous)	Single screw extruders	Melt fed Plasticating Single stage Multi stage Compounding
	Multi screw extruders	Twin screw extruders Gear pumps Planetary gear extruders Multi (>2) screw extruders
Disk or drum extruders (continuous)	Viscous drag extruders	Spiral disk extruder Drum extruder Diskpack extruder Stepped disk extruder
	Elastic melt extruders	Screwless extruder Screw or disk type melt extruder
Reciprocating extruders (discontinuous)	Ram extruders	Melt fed extruder Plasticating extruder Capillary rheometer
	Reciprocating single screw extruders	Plasticating unit in injection molding machines Compounding extruders such as the Kneader

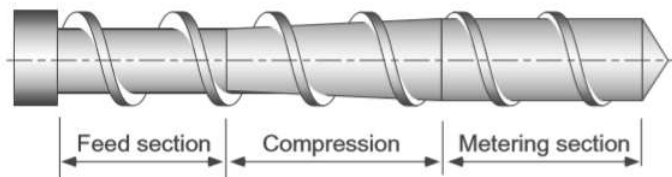


### 2.1.1 Single Screw Extruder

Screw extruder dibagi menjadi dua yaitu *single screw extruder* (SSE) dan *Multi Screw Extruder* (MSE). *Single screw extruder* adalah tipe yang paling banyak digunakan dalam industri polimer. Keuntungan dari tipe ini yaitu harga yang relatif murah dan desain yang sederhana. *Extruder screw* yang banyak digunakan memiliki tiga bagian utama yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.

Geometri tersebut juga dinamakan “*single stage*” yaitu *screw* jenis ini hanya memiliki satu zona kompresi. Bagian yang pertama yaitu bagian yang paling dekat dengan *hopper* memiliki *flight* yang paling dalam. Material pada zona ini semuanya masih berbentuk solid. Zona ini juga disebut zona pengumpanan. Bagian akhir atau yang paling dekat dengan *dies* yaitu *metering zone* yang memiliki *flight* yang dangkal. Pada bagian ini, keseluruhan material sudah menjadi cair. Zona ini juga disebut dengan zona pemompaan. Diantara kedua zona tersebut, terdapat zona transisi atau zona kompresi. Kedalaman *flight* pada zona ini berkurang secara linear.

Pada umumnya extruder didesain dengan diameter barrel standar yaitu  $\frac{3}{4}$ , 1,  $1\frac{1}{2}$ , 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3,  $3\frac{1}{2}$ , 4,  $4\frac{1}{2}$ , 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, dan 24 inch. Selain itu, juga ada yang membuat single screw extruder dengan diameter 35 inch untuk produk tertentu.



**Gambar 2. 1** Geometri screw ekstruder konvensional (*Polymer extrusion, 2013*)



## 2.2 Sistem Penggerak Ekstruder

Sistem penggerak dibutuhkan untuk menggerakkan *screw* pada sistem ekstruder dengan kecepatan tertentu. Sistem penggerak ini harus dapat menjaga kecepatannya tetap konstan karena fluktuasi kecepatan *screw* ekstruder dapat menyebabkan bentuk yang tidak homogen pada hasil akhir. Oleh karenanya, kecepatan yang konstan menjadi syarat utama dalam pemilihan sistem penggerak. Sistem penggerak juga harus mampu memberikan torsi yang cukup. Beberapa sistem penggerak telah dikembangkan untuk digunakan sebagai sistem penggerak *extruder screw* yaitu sebagai berikut :

- Sistem penggerak motor listrik AC
- Sistem penggerak motor listrik DC
- Sistem penggerak hidrolik

### 2.2.1 Sistem Penggerak Motor Listrik AC

Terdapat dua jenis sistem penggerak motor listrik AC yang penggunaannya pada mesin ekstruder cukup banyak yaitu *mechanical adjustable speed drive* (MAS) dan *electrical friction clutch drive*.

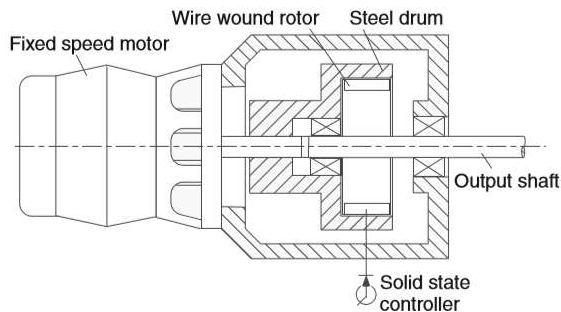
#### 2.2.1.1 Mechanical Adjustable Speed Drive

Terdapat empat jenis MAS drives yaitu : rantai, belt, balok kayu, dan tipe traksi. Dua tipe terakhir tidak dapat digunakan pada sistem ekstruder karena keterbatasannya yaitu kecepatan yang sangat rendah dan mudah rusak oleh loncatan listrik. Tipe belt dapat disesuaikan dengan rasio yang besar. Tipe belt dapat digunakan hingga power sebesar 100 hp. Tipe rantai memiliki kelebihan yaitu umur pakai yang lebih panjang dibandingkan tipe belt. Tipe rantai juga dapat beroperasi pada temperatur tinggi. Akan tetapi tipe rantai juga memiliki kekurangan yaitu harganya yang lebih mahal dibandingkan belt.



### 2.2.1.2 Electric Friction Clutch

Pada electric friction clutch drive, tidak ada kontak mekanik secara langsung antara poros input dan output. Hal ini mengurangi keausan material. Terdapat tiga jenis electric friction clutch drive yaitu *hysteresis*, *eddy-current*, dan *magnetic particle clutches*. Pada industri ekstrusi yang banyak digunakan untuk tipe ini yaitu *eddy-current*. Tipe ini banyak digunakan karena pengaplikasian yang sederhana. Skema *eddy-current clutch* dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

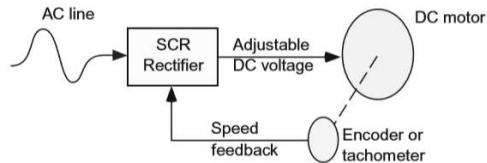


**Gambar 2. 2** Eddy-current clutch (*Plastics Machinery & Equipment*, 1982)

### 2.2.2 Sistem Penggerak Motor DC

Saat ini, DC motor biasanya dioperasikan dari *solid-state power supply* karena lebih efektif dalam hal biaya dibandingkan menggunakan *generator set*. Sistem penggerak motor DC bisa lebih murah dan lebih sederhana. *Brushed DC motor* memiliki kekurangan yaitu perlu dilakukan penggantian *brushed* dalam jangka waktu pemakaian tertentu. Skematik dari sistem penggerak DC motor ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

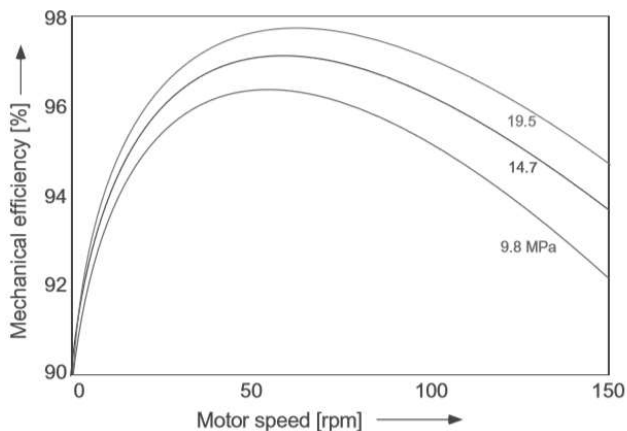




**Gambar 2. 3** Skematik DC motor (*Plastics Machinery & Equipment, 1982*)

### 2.2.3 Sistem Penggerak Hidrolik

Secara umum, sistem penggerak hidrolik dihasilkan dari putaran konstan motor AC untuk memompakan cairan hidrolik. Kelebihan dari sistem penggerak hidrolik ini adalah torsi tinggi, power tinggi, akselerasi yang halus dan mudah untuk dikontrol. Efisiensi sistem penggerak hidrolik bisa mencapai 70%. Penggunaan *accumulator* dan *cartridge* dapat meningkatkan efisiensi sistem penggerak hidrolik ini. Kurva efisiensi untuk motor torsi tinggi, kecepatan rendah ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

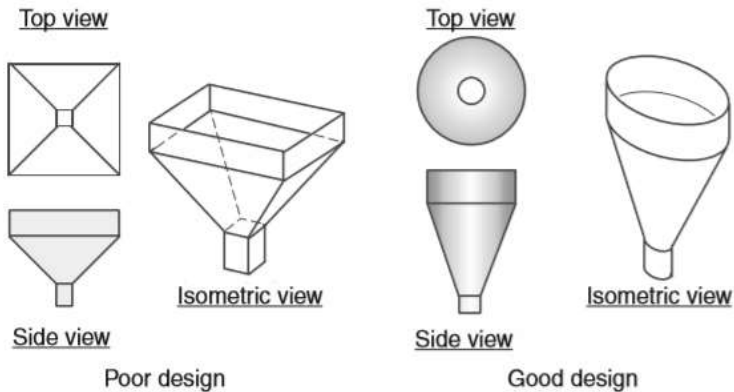


**Gambar 2. 4** Kurva efisiensi motor torsi tinggi, kecepatan rendah (*Machine Design, 1975*)



### 2.3 Feed Hopper

Umpan untuk mesin ekstruder berbentuk granular disalurkan melalui *feed hopper* menuju mesin ekstruder. Pada umumnya, material disalurkan dari *hopper* menuju mesin ekstruder dengan memanfaatkan gravitasi tapi sayangnya tidak semua material dapat menggunakan metode ini. Beberapa material memiliki flow characteristic yang buruk sehingga perlu ditambahkan perangkat khusus seperti vibrator pada feed hopper. Desain hopper dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2. 5** Desain hopper yang baik dan buruk (*Plastics Machinery & Equipment, 1982*)

### 2.4 Extruder Screw

Screw pada mesin ekstruder merupakan bagian paling penting. Putaran dari *screw* menghasilkan gerakan maju untuk transportasi material dari *hopper* menuju *dies*. Dalam proses desain *screw extruder* ini, pertama-tama dilakukan pemilihan material. Umumnya material screw yang digunakan adalah baja AISI 4140 yaitu baja karbon medium yang juga merupakan material yang harganya relatif murah. Tabel material yang banyak



digunakan untuk proses ekstrusi polimer ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Komposisi beberapa material screw pada mesin screw extruder (*polymer extrusion, 2013*)

	C	Si	Mn	F	S	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	W	Co	Fe
<b>Low carbon steel</b>														
8620	0.21	0.30	0.80	0.035	0.035	0.50	0.20	0.55						97.37
<b>Medium carbon steels</b>														
4140	0.42	0.30	0.80	0.035	0.035	1.05	0.23							97.13
135	0.41		0.60	0.025	0.025	1.60	0.35			1.10				95.89
<b>Stainless steels</b>														
17-4	0.04	1.00	0.40			16.5		4.80			4.00			73.26
304	0.07	1.00	2.00	0.045	0.030	18.5		9.20						69.16
316	0.07	1.00	2.00	0.045	0.030	17.5	2.25	12.0						65.10

Pada **Tabel 2.3** ditunjukkan juga sifat mekanik untuk beberapa jenis material yang banyak digunakan sebagai material screw.

**Tabel 2.3** Sifat mekanik material screw (*polymer extrusion, 2013*)

	Ultimate tensile strength after HT [MPa]	Max. surface hardness after [RC] HT	Screw/ cost ratio	Used with hard-facing	Used with chrome
8620	900	60	1.5	No	Yes
4140 HT	2000	55-60	1.0	Yes	Yes
Nitralloy 135M	1400	60-74	1.2	Yes	Not advisable
17-4 PH	1400	65	2.0	Yes	No
304			1.5	Yes	No
316			1.5	Yes	No
H-13	1800	60-74	1.7	No	Yes
D-7	1650		3.0	No	Yes
Hastelloy			3.0	Yes	No
Duranickel	1100		3.0	Yes	No



## 2.5 Extruder Dies

Pada beberapa jenis ekstruder, *breaker plate* terletak diantara *dies* dan *barrel*. *Breaker plate* terbuat dari bahan metal tebal dengan lubang paralel terhadap sumbu *screw*. Terdapat dua alasan utama menggunakan *breaker plate* yaitu untuk membuat aliran polimer spiral dan menghasilkan aliran dengan garis lurus.

### 2.5.1 Screens and Screen Changers

Penyaringan dilakukan untuk menghilangkan pengotor sebelum melalui *breaker plate*. Ukuran saringan umumnya yaitu berukuran 100 mesh kemudian diikuti dengan ukuran 60-mesh dan ditambah dengan 30 mesh setelah *breaker plate*. Terdapat tiga tipe media filter yaitu *wire mesh*, *sintered powder*, dan *random fiber*. Perbandingan media filter dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4** Perbandingan beberapa jenis media filter (*polymer extrusion, 2013*)

	Wire mesh, square weave	Wire mesh, Dutch twill	Sintered powder	Random metal fiber
Gel capture	Poor	Fair	Good	Very good
Contaminant capacity	Fair	Good	Fair	Very good
Permeability	Very good	Poor	Fair	Good

## 2.6 Elemen Pemanas Elektrik

### 2.6.1 Resistance Heating

Jenis pemanas barrel yang paling banyak digunakan adalah pemanas elektrik dengan prinsip kerja memanfaatkan resistansi listrik. Panas akan terbentuk seiring dengan mengalirnya arus pada konduktor. Besarnya panas yang dihasilkan bergantung pada nilai resistansi konduktor dan arus yang mengalir pada konduktor tersebut. Jumlah panas yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut



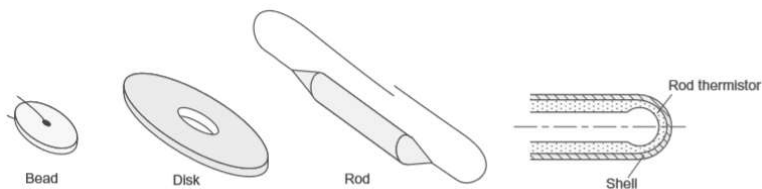
$$\dot{Q}_e = I^2 R = VI = \frac{V^2}{R} \quad (2.1)$$

Dimana  $Q$  adalah energi,  $I$  adalah arus,  $R$  adalah hambatan/resistansi,  $V$  adalah voltase. Perhitungan ini berlaku untuk arus DC dan arus AC fasa tunggal. Untuk arus AC tiga fasa, perhitungan panas yang dihasilkan adalah sebagai berikut

$$\dot{Q}_e = 3VI \quad (2.2)$$

## 2.7 Pengukuran Temperatur

Pengukuran temperatur dilakukan di beberapa tempat yaitu pada *extruder barrel*, *Polymer melt*, dan *Ekstrudate* sesaat setelah keluar dari *dies*. Pemilihan jenis pengukur temperatur bergantung pada dimana dan apa yang diukur. Temperatur dapat diukur menggunakan *sensor temperatur*, *thermocouple*, dan *radiation pyrometer*. Terdapat dua tipe *resistive temperature sensor* yaitu tipe konduktif dan semikonduktor. Kedua jenis sensor ini bekerja dengan prinsip yang sama yaitu hambatan material berubah dengan adanya perubahan temperatur. Untuk tipe semikonduktor, sensor yang digunakan pada umumnya yaitu *thermistor* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



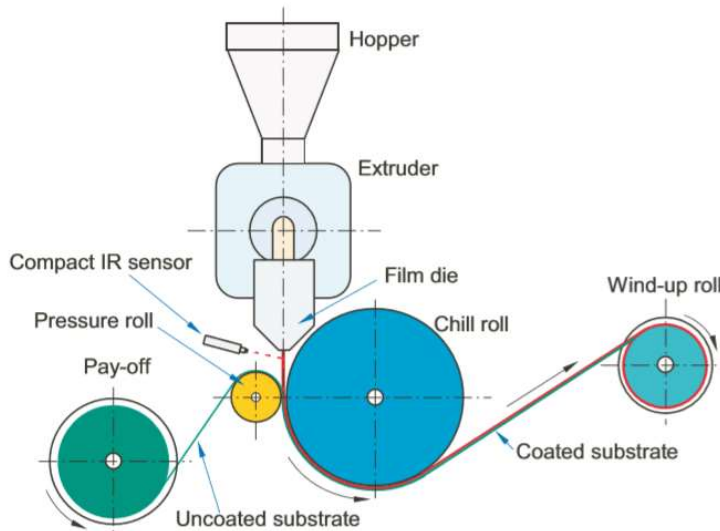
**Gambar 2.6** Beberapa bentuk thermistor (*Plastics Machinery & Equipment*, 1982)



Untuk pengukuran temperatur pada *ekstrudat*, tipe kontak langsung tidak dapat diaplikasikan karena dapat merusak permukaan *ekstrudat*. Untuk pengukuran temperatur tanpa kontak langsung, dapat digunakan pengukuran *Infrared* (IR). Sensor IR juga dapat digunakan untuk mengukur temperatur plastik cair di dalam ekstruder. Pada **Tabel 2.5** ditunjukkan perbandingan dari beberapa jenis sensor temperatur. Pada **Gambar 2.7** menunjukkan skema penggunaan sensor temperatur IR pada ekstrudat.

**Tabel 2.5** Perbandingan beberapa jenis sensor temperatur

	Thermocouple	RTD	Thermistor
Reproducibility	1–8 °C	0.03–0.05 °C	0.1–1 °C
Stability	1–2 °C in 1 year	<0.1% in 5 years	0.1–3 °C in 1 year
Sensitivity	0.01–0.05 mV/°C	0.2–10 Ohm/°C	100–1000 Ohm/°C
Interchangeability	Good	Excellent	Poor
Temperature range	–250 to 2300 °C	–250 to 1000 °C	–100 to 280 °C
Signal output	0–60 mV	1–6 V	1–3 V
Minimum size	25 µm diameter	3 mm diameter	0.4 mm diameter
Linearity	Excellent	Excellent	Poor
Response time	Good	Fair	Good
Point sensing	Excellent	Fair	Excellent
Area sensing	Poor	Excellent	Poor
Cost	Low	High	Low
Unique features	Greatest economy, wide range, common in extrusion	Greatest accuracy, very stable, less common in extrusion	Greater sensitivity, rarely used in extrusion



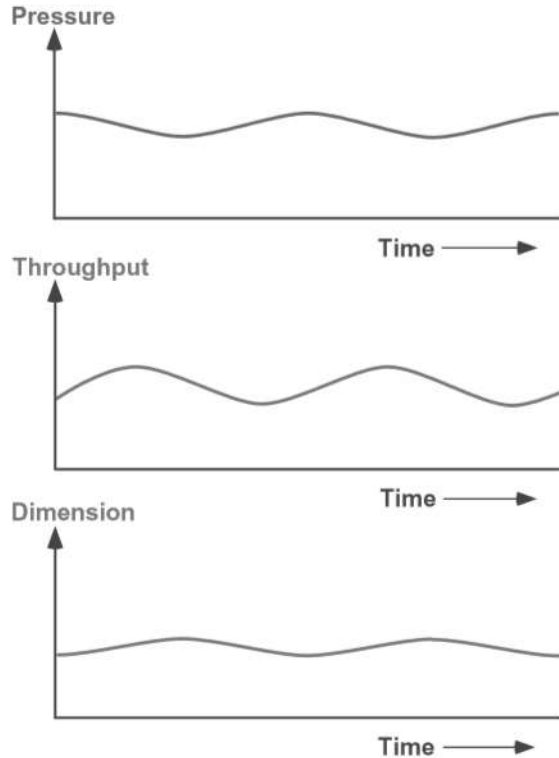
**Gambar 2.7** Skema aplikasi sensor IR pada ekstrudat (*Plastics Machinery & Equipment, 1982*)

## 2.8 Pengukuran Tekanan

Pengukuran tekanan pada ekstruder penting karena dua alasan yaitu :

1. Kontrol dan process monitoring
2. Safety

Tekanan pada diehead menentukan output ekstruder. Tekanan dibutuhkan untuk mengatasi resistansi die. Bagaimana pengaruh tekanan terhadap waktu dapat kita lihat pada **Gambar 2.7**. dengan demikian kita dapat mengetahui dengan pasti apakah proses berjalan dengan stabil atau tidak.



**Gambar 2.8** Tekanan, throughput, dan dimensi sebagai fungsi waktu (*Plastics Machinery & Equipment*, 1982)

Juga sangat penting untuk melakukan pengukuran tekanan pada ekstruder karena tekanan yang sangat besar dapat menyebabkan ledakan, barrel dapat pecah bahkan terhempas dari ekstruder. Saat ini ada banyak jenis transduser yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tekanan. Yang paling banyak digunakan dalam proses ekstrusi adalah jenis *strain gauge transducer* dan *piezo-resistive transducer*. Pada *strain gauge transducer*, *strain gauge* dikaitkan ke diafragma. Tekanan akan

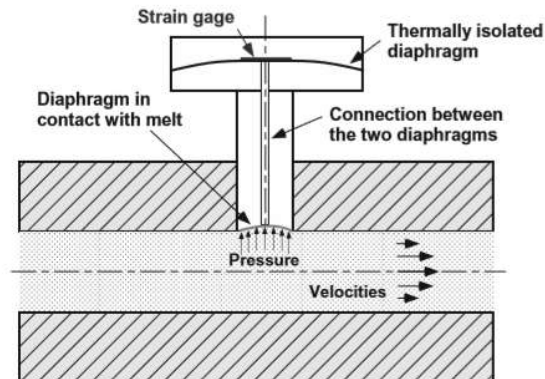


mengubah bentuk diafragma dan nilai tekanan dapat terukur. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9**, tipe ini dapat memberikan respon yang baik serta resolusi yang tinggi. Pada **Gambar 2.10**, ditunjukkan juga *strain gauge* terpasang pada diafragma kedua kemudian menghitung besar defleksi yang dapat dikaitkan dengan besarnya tegangan yang terbaca. Pada **Tabel 2.6** ditunjukkan perbandingan dari beberapa jenis pressure transducer.

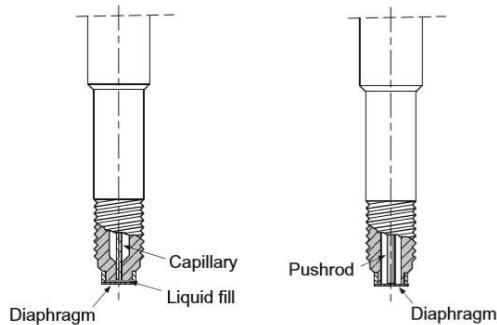
**Tabel 2.6** Perbandingan jenis-jenis *pressure transducer* (*Plastics Machinery & Equipment*, 1982)

Transducer type	Robustness	Temperature sensitivity	Dynamic response	Total error
Pneumatic	Good	Poor	Poor	About 1.5%
Capillary strain gauge*	Fair	Fair	Fair	0.5 to 3%
Pushrod strain gauge	Fair	Poor	Fair	About 3%
Piezoelectric	Good	Poor	Good	0.5–1.5%
Piezo-resistive	Good	Good	Good	0.2 to 0.5%
Optical	Good	Good	Good	About 0.5%

\* Concern with mercury



**Gambar 2.9** Prinsip kerja *strain gauge transducer* (*Plastics Machinery & Equipment*, 1982)



**Gambar 2.10** *Capillary* (kiri) dan *Pushrod type* (kanan)  
(*Plastics Machinery & Equipment, 1982*)

## 2.9 Feed Material

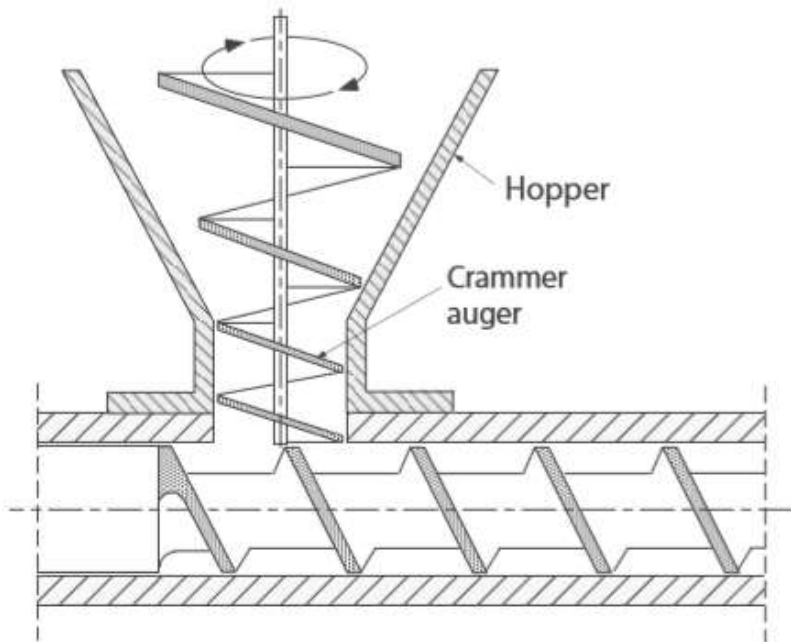
Untuk memahami proses ekstrusi, tidak cukup hanya dengan mengetahui perangkat dan aspek mesin ekstruder. Untuk benar-benar dapat memahami proses secara keseluruhan, satu hal yang perlu dipahami adalah sifat dari material yang akan diekstrusi. Ada dua jenis sifat polimer yang harus benar-benar dipahami yaitu *rheological property* dan *thermal property*. *Rheological property* diperlukan untuk mengetahui bagaimana material terdeformasi ketika diberikan beban tertentu. *Thermal Properties* dibutuhkan untuk mengetahui dan memprediksi perubahan temperatur pada polimer dan bagaimana polimer bereaksi dengan perubahan temperatur tersebut.

### 2.9.1 Sifat Bulk Material

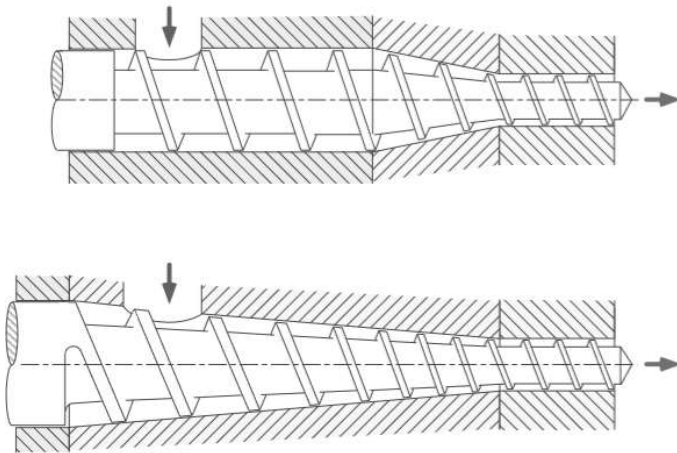
#### 2.9.1.1 Bulk Density

*Bulk density* adalah densitas dari partikel polimer termasuk daerah kosong diantara partikel polimer tersebut. Ini dapat diketahui dengan cara mengisi material kedalam wadah 1 liter atau lebih tanpa diberi tekanan kemudian material ditimbang. *Bulk*

*density* kemudian didapatkan dari hasil bagi berat terhadap volume. Untuk material dengan *bulk density* kecil akan mengakibatkan masalah *solid conveying*. Sebuah komponen kemudian dirancang untuk mengatasi masalah ini yaitu *Crammer feeder* (**Gambar 2.10**) sehingga material pada hopper dapat disuplai dengan maksimal. Ekstruder khusus juga dirancang memiliki ukuran pada feed section lebih besar dibandingkan transition dan metering section (**Gambar 2.11**) terdapat dua jenis konfigurasi dan keduanya banyak digunakan.



**Gambar 2.11** *Crammer feeder* (Plastics Machinery & Equipment, 1982)



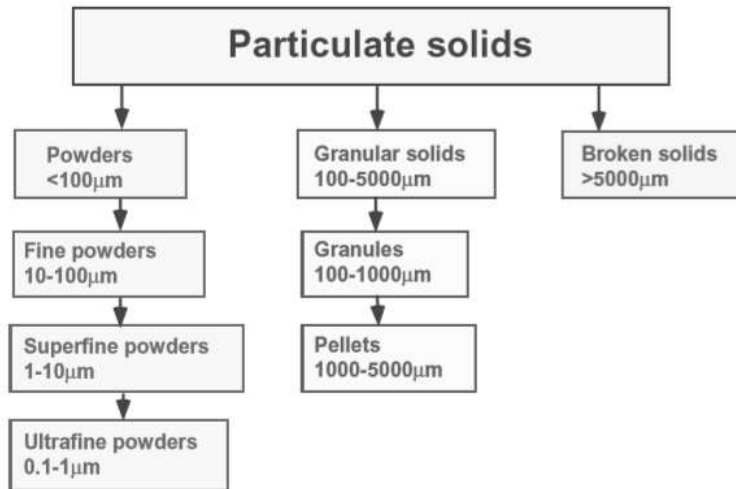
**Gambar 2.12** Dua jenis konfigurasi untuk mengatasi material densitas rendah (*Plastics Machinery & Equipment, 1982*)

### 2.9.1.2 Koefisien Gesek

Koefisien gesek juga merupakan hal yang penting baik terhadap eksternal maupun internal. Koefisien gesek internal yaitu gaya gesek antara material yang menyebabkan antara material dapat terjadi pergeseran.

### 2.9.1.3 Ukuran dan Bentuk Partikel

Ukuran partikel untuk proses ekstrusi memiliki berbagai ukuran dengan jarak yang luas yaitu mulai dari ukuran 1 micron hingga 10 mm. **Gambar 2.12** ditunjukkan tata nama berdasarkan ukuran partikel.



**Gambar 2.13** Tata nama berdasarkan ukuran partikulat (*Friction and wear of polymer, 1981*)

Ukuran dan bentuk partikulat dapat diketahui dengan observasi visual maupun menggunakan mikroskop. Pengaruh bentuk partikulat terhadap proses feeding yaitu pada koefisien gesek baik internal maupun eksternal. Bentuk granular cenderung memiliki sifat mudah mengalir sedangkan untuk bentuk lainnya yang memiliki sifat sulit untuk dialirkan membutuhkan perangkat tambahan untuk membantu proses feeding.

## 2.10 Thermal Characterization

Dalam karakterisasi termal, panas yang dikontrol terhadap sampel dan efeknya diukur dan direkam. Dalam operasi isothermal, pengaruh direkam sebagai fungsi waktupada temperatur konstan. Penelitian tentang karakterisasi thermal telah dilakukan oleh Wendlandt, Daniel, dan Turi



### 2.10.1 DTA dan DSC

*Differential Thermal Analysis* (DTA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) adalah metode yang serupa. Keduanya menghitung perubahan kapasitas panas sampel. Teknik ini dapat digunakan untuk mencari temperatur transisi ( $T_m$ ,  $T_g$ ,  $T_\alpha$ ,  $T_\beta$ , etc.), specific heat, heat of fusion, percent crystallinity, induction time, reaction rate, crystallization rate, dan lain-lain.

### 2.10.2 TGA

*Thermogravimetric analyzer* (TGA) menghitung perubahan massa sampel karena penguapan, reaksi, atau absorpsi. Pada polimer, TGA digunakan untuk mengukur moisture loss dan rates and temperature of reaction.

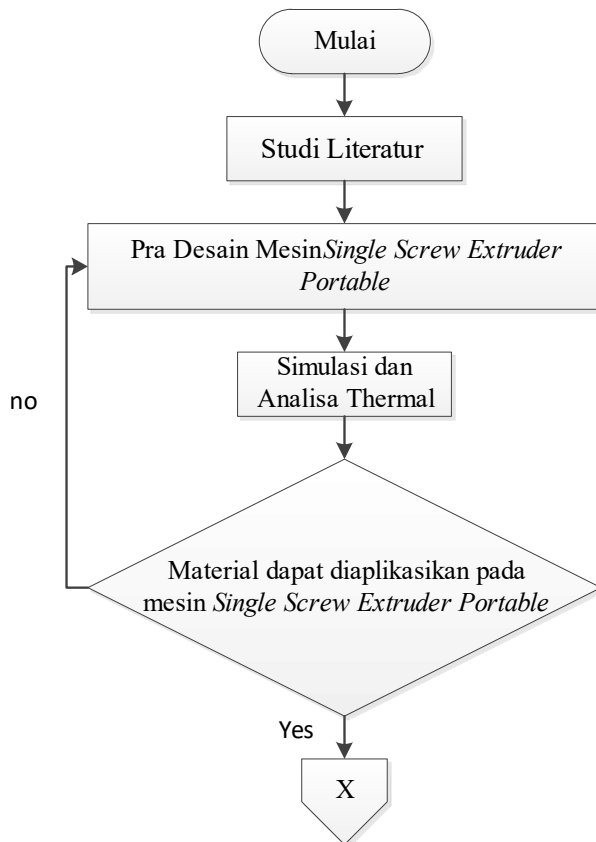
### 2.10.3 TMA

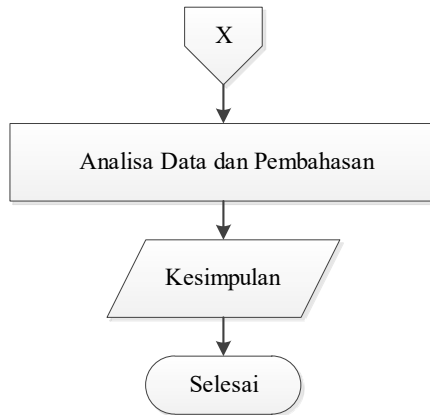
TMA dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik terhadap perubahan temperatur dalam fungsi waktu. Deformasi sampel yang dapat diukur yaitu kompresi, penetrasi, ekstensi, dan bending.



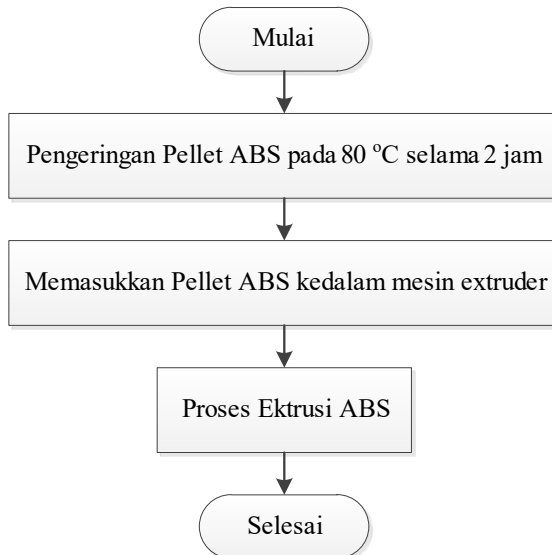
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Perancangan Mesin *Single Screw Extruder Portable*.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Perancangan Mesin

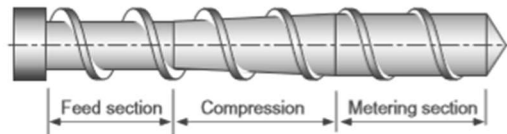


**Gambar 3.2** Diagram Alir Ekstrusi Material



### 3.2 Konsep Desain

Konsep desain *single screw extruder portable* yang akan dirancang terbagi atas tiga daerah atau zona seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.3**. Zona-zona tersebut adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.3** Pembagian zona *single screw extruder* (polymer extrusion, 2013)

1. *Feed Section*

Pada daerah ini merupakan zona pertama yang akan dilewati material berupa pellet atau flakes *ABS* setelah melalui hopper. Pada daerah ini material keseluruhan masih berbentuk solid.

2. *Compression Section*

Zona ini adalah zona ketika temperatur leleh dari material tercapai atau akhir dari *solid conveying zone*. Zona ini juga dikenal sebagai *melting section*.

3. *Metering Section*

Pada zona ini, kedalaman *flight screw* lebih kecil sehingga kompresi lebih tinggi. Setelah memasuki zona ini, ukuran *screw* sama mulai dari awal *metering section* hingga akhir *screw*.

*Screw* pada mesin *Single Screw Portable* ini secara keseluruhan memiliki bentuk *conical* yaitu semakin dekat ke arah dies, maka bagian inti *screw* semakin membesar untuk menghasilkan kompresi setelah terjadi perubahan plastik dari solid menjadi liquid.



### 3.3 Pra-Desain *Single Screw Extruder Portable*

Dalam sebuah mesin *single screw extruder*, terdapat beberapa komponen utama yang harus dimiliki yaitu *lead screw*, *extruder barrel*, *heating element*, dan *dies*. Pemilihan material yang tepat untuk digunakan pada mesin extruder ini kemudian akan sangat berpengaruh terhadap produk hasil ekstrusi sehingga sifat dari material tersebut menjadi pertimbangan agar mesin *single screw extruder portable* ini dapat bekerja dengan efisien. Data sifat-sifat yang diperlukan dalam proses desain mesin *single screw extruder portable* ini adalah sebagai berikut :

1. Konduktifitas thermal material *barrel*
2. Sifat mekanik material *screw*
3. Sifat fisis material feed

Dari nilai yang diperoleh pada proses pengumpulan data dan kondisi operasi, maka dapat dibuat desain *single screw extruder portable* dengan data sementara kemudian dilakukan evaluasi untuk meningkatkan efisiensi mesin *single screw extruder portable*. Target yang ingin diperoleh dari studi rancang bangun ini yaitu menghasilkan sebuah mesin *single screw extruder* yang portable dengan kapasitas produksi sebesar 1.5 kg/jam. Untuk memenuhi kriteria mesin yang portable maka diberi batasan yaitu panjang barrel screw sebesar 600 mm. basis data rancangan *single screw extruder* yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.1**

**Tabel 3.1** Data rancangan *single screw extruder* L/D 26 (Kuraray Asia Pasific, Ltd.)

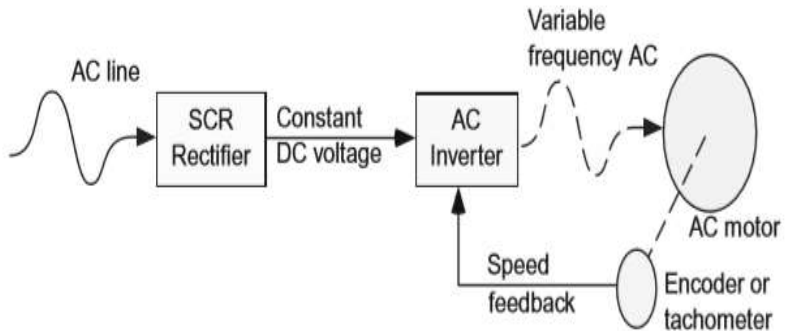
TYPICAL DIMENSION	
Diameter	60 mm
Flighted Length	1560 mm (26D)
Feed Section Length	480 mm (8D)



Compression Section Length		540 mm (9D)	
Metering Section Length		540 mm (9D)	
Compression Ratio		3	
Constant Screw Pitch (Flight lead)		60 mm (1D)	
Channel Depth Feed Section		8.3 mm	
Channel Depth Metering Section		2.5 mm	
Channel Width		54 mm (0.9D)	
Flight Width		3 mm	
Flight Angle		17.65	
Screw Tip Angle		120 ~ 150	
Flight to Root Radius	Feed Section	Compression Section	Metering Section
Leading Edge Radius	8.3 mm	8.3 - 2.5 mm	2.5 mm
Trailing Edge Radius	5 mm	5 - 2 mm	2 mm

### 3.3.1 Sistem Penggerak

Dalam mendesain mesin *single screw extruder portable* jenis motor penggerak yang digunakan adalah *12V Hi-Torque DC Motor* karena kelebihanya yaitu dimensi yang kecil dan tidak membutuhkan *mechanical adjustable speed drive* (MAS) yaitu rantai, belt, atau *traction type* tidak diperlukan. Yang digunakan pada sistem ini untuk mengatur kecepatan putaran DC motor yaitu *adjustable dc voltage* untuk skematik *dc motor drive* dapat dilihat pada **Gambar 3.4**



**Gambar 3.4** Skematik penggerak dc motor (*Motors and drives for extrusion application, 1999*)

### 3.3.2 Desain Screw

Screw pada mesing ekstruder merupakan bagian paling penting. Putaran dari *screw* menghasilkan gerakan maju untuk transportasi material dari *hopper* menuju *dies*. Dalam proses desain *screw extruder* ini, pertama-tama dilakukan pemilihan material. Umumnya material screw yang digunakan adalah baja AISI 4140 yaitu baja karbon medium yang juga merupakan material yang harganya relatif murah. Tabel material yang banyak digunakan untuk proses ekstrusi polimer ditunjukkan pada **Tabel 3.2**. Pada **Tabel 3.3** ditunjukkan juga sifat mekanik untuk beberapa jenis material yang banyak digunakan sebagai material screw.



**Tabel 3.2** Komposisi beberapa material screw pada mesin screw extruder (*polymer extrusion, 2013*)

	C	Si	Mn	F	S	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	W	Co	Fe
<b>Low carbon steel</b>														
8620	0.21	0.30	0.80	0.035	0.035	0.50	0.20	0.55						97.37
<b>Medium carbon steels</b>														
4140	0.42	0.30	0.80	0.035	0.035	1.05	0.23							97.13
135	0.41		0.60	0.025	0.025	1.60	0.35			1.10				95.89
<b>Stainless steels</b>														
17-4	0.04	1.00	0.40			16.5		4.80			4.00			73.26
304	0.07	1.00	2.00	0.045	0.030	18.5		9.20						69.16
316	0.07	1.00	2.00	0.045	0.030	17.5	2.25	12.0						65.10

**Tabel 3.3** Sifat mekanik material screw (*polymer extrusion, 2013*)

	Ultimate tensile strength after HT [MPa]	Max. surface hardness after [RC] HT	Screw/ cost ratio	Used with hard-facing	Used with chrome
8620	900	60	1.5	No	Yes
4140 HT	2000	55-60	1.0	Yes	Yes
Nitralloy 135M	1400	60-74	1.2	Yes	Not advisable
17-4 PH	1400	65	2.0	Yes	No
304			1.5	Yes	No
316			1.5	Yes	No
H-13	1800	60-74	1.7	No	Yes
D-2	1650		1.7	No	Yes
D-7	1650		3.0	No	Yes
Hastelloy			3.0	Yes	No
Duranickel	1100		3.0	Yes	No

### 3.4 Simulasi Thermal

Simulasi dan analisa thermal dilakukan untuk mengetahui heat transfer pada *barrel extruder* yang terjadi akibat pemanasan



oleh *band heater*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Solidwork*. Data hasil simulasi yang didapatkan berupa spectrum warna berdasarkan temperatur yang dikenakan oleh band heater pada material *barrel extruder*.

Dari hasil simulasi thermal pada material barrel, kemudian dapat dianalisa berdasarkan data fisis dan thermal property dari material yang akan diekstrusi dalam hal ini material yang digunakan adalah material polimer *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) yang merupakan material yang paling banyak digunakan dalam proses *rapid prototyping* dalam hal ini yaitu proses *3D Printing*.

**Tabel 3.4** Property beberapa material polimer (CAMPUS, 1994)

Polymer	$k$ [J/ms°C]	$C_p$ [J/g°C]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$T_g$ [°C]	$T_{mp}$ [°C]	$n$ [-]	$d\eta/\eta dT$ [°C <sup>-1</sup> ]
PS	0.12	1.20	1.06	101	–	0.30	0.08
PVC	0.21	1.10	1.40	80	–	0.30	0.20
PMMA	0.20	1.45	1.18	105	–	0.25	0.20
SAN	0.12	1.40	1.08	115	–	0.30	0.20
ABS	0.25	1.40	1.02	115	–	0.25	0.20
PC	0.19	1.40	1.20	150	–	0.70	0.05
LDPE	0.24	2.30	0.92	–120/–90	120	0.35	0.03
LLDPE	0.24	2.30	0.92	–120/–90	125	0.60	0.02
HDPE	0.25	2.25	0.95	–120/–90	130	0.50	0.02
PP	0.15	2.10	0.91	–10	175	0.35	0.02
PA-6	0.25	2.15	1.13	50	225	0.70	0.02
PA-6.6	0.24	2.15	1.14	55	265	0.75	0.03
PET	0.29	1.55	1.35	70	275	0.60	0.03
PBT	0.21	1.25	1.35	45	250	0.60	0.03
PVDF	0.16	1.38	1.76	–40	170	0.38	0.03
FEP	0.20	1.18	2.15	70	275	0.60	0.04



### 3.5 Kecepatan Screw Conveying

Kecepatan screw conveying diperoleh dari perbandingan panjang total flighted screw dan waktu pemanasan yang dibutuhkan hingga material polymer sampai pada titik melting.

$$V = \frac{\text{panjang total flighte leng}}{\text{waktu pemanasan}} \text{ (mm/s)} \dots \text{pers 3.1}$$

Dari hasil perhitungan pada *pers 3.1* (Jonas, 2017) didapatkan kecepatan screw dalam mm/s dengan asumsi waktu pemanasan yang dibutuhkan dari feed hopper sampai dies adalah 52 detik karena adanya proses mixing didalam screw extruder. yang kemudian diubah dalam *revolution per minute* (RPM) (Rauwendaal, 2013)

$$n = \frac{V \times 60}{s} \text{ (Rpm)} \dots \text{pers 3.2}$$

n = Revolution per minute (Rpm)  
V = Kecepatan conveying (mm/s)  
s = Screw lead (mm)

### 3.6 Material Density

Material yang akan diproses pada penelitian ini yaitu *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dalam bentuk pellet yang kemudian dihitung bulk density yang kemudian datanya digunakan untuk menghitung kapasitas produksi mesin.

$$\rho_b = \frac{M}{V_b} \dots \text{pers 3.3}$$

$\rho_b$  = Bulk density  
M = Massa material  
V = Volume wadah ukur



Dari perhitungan tersebut (ASTM D 1895B) kemudian dilakukan pengukuran densitas pellet ABS menggunakan gelas ukur 50 ml dan timbangan digital dan didapatkan hasil bulk density dari pellet ABS yang digunakan yaitu sebesar  $0.773 \text{ gr/mm}^3$ . Pellet ABS yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari LG Chem type ABS HF380 dengan pengeringan pada  $80^\circ\text{C}$  selama 2 jam.



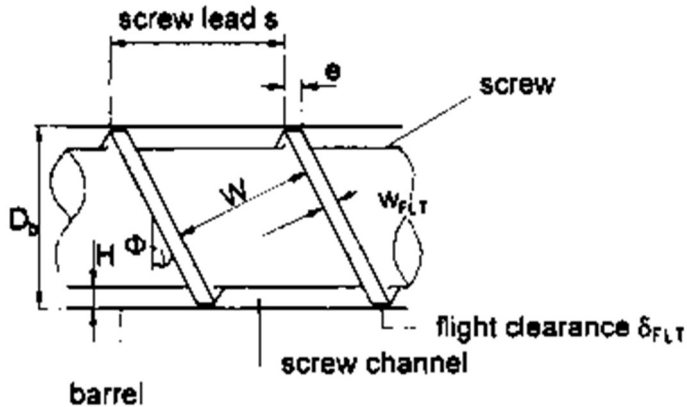
**Gambar 3.5** Hasil pengukuran bulk density

### 3.7 *Rate of Production per Hour*

Sebagai dasar dalam perancangan mesin ekstruder, digunakan perhitungan rate of production single screw extruder dan kemudian dilakukan eksperimen langsung untuk memvalidasi hasil perhitungan dan produk sebenarnya yang dihasilkan setelah mesin beroperasi



$$\text{Rate} = 60 \times \rho_b \times N \times \eta_F \times \pi^2 \times H \times D_b (D_b - H) \times \frac{w}{w + w_{FLT}} \times \sin \theta \times \cos \theta \dots \text{pers 3.4}$$



**Gambar 3.6** Keterangan dimensi screw

- $D_b$  = Barrel diameter
- $s$  = Screw lead
- $v$  = Number of flight
- $w_{flt}$  = Flight width
- $w$  = Channel width
- $H$  = Channel depth (feed section)
- $N$  = Screw speed
- $\rho_b$  = Bulk density of the polymer
- $\eta_F$  = Conveying efficiency (0.2565 for ABS)

### 3.8 Biaya Produksi

Akan dilakukan perhitungan biaya produksi per kilogram filament yang dihasilkan sehingga dapat menjadi pembanding antara hasil produksi filament dengan mesin *Single Screw Extruder Portable* dibandingkan dengan filament konvensional dengan data biaya pengeluaran sebagai berikut :



Pengeluaran	Jumlah
Tarif Listrik / KWh	Rp. 580,-
Pellet ABS / Kg	Rp. 11.500,-



## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Rancangan Dasar

Untuk melakukan perancangan, dibutuhkan beberapa data sebagai dasar untuk melakukan perhitungan dan perancangan mesin dengan aplikasi CAD. Data yang telah ditentukan terlebih dahulu adalah sebagai berikut :

Rate	= 1.5 kg/jam
Fl	= 600 mm
S	= $w + w_{fl}$ = 30 mm
$w_{fl}$	= 3 mm
$w$	= 27 mm
$H$	= 8.3 mm
$\eta_F$	= 0.2565 (ABS)

Dengan **Pers 3.4** dicari nilai  $D_b$  (Diameter Barrel) untuk mengetahui seberapa besar diameter barrel yang dibutuhkan untuk menghasilkan mesin *single screw extruder portable* yang memiliki panjang 600 mm agar dapat menghasilkan produk *filament 3d printer* sebanyak 1.5 kg/jam. Oleh karena itu, diperlukan nilai jumlah putaran screw per menit (RPM). Untuk itu dilakukan perhitungan laju material sebagai berikut:

$$V = \frac{\text{panjang total flighted length}}{\text{waktu pemanasan}}$$

$$V = \frac{600 \text{ mm}}{180 \text{ detik}}$$

$$V = 3.33 \text{ mm/detik}$$

Kemudian hasil laju material tersebut dikonversi menjadi revolution per minute (RPM) dengan perhitungan sebagai berikut:



$$n = \frac{V \times 60}{s}$$

$$n = \frac{3.33 \times 60}{30}$$

$$\mathbf{n = 6.66 \text{ RPM}}$$

Pada **Pers 3.4** kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan diameter barrel berdasarkan semua data yang telah diperoleh sebelumnya sehingga didapatkan nilai diameter barrel yang dibutuhkan.

$$\text{Rate} = 60 \times \rho_b \times N \times \eta_F \times \pi^2 \times H \times D_b \times (D_b - H) \times \frac{W}{W + W_{FLT}} \times \sin \theta \times \cos \theta$$

$$1.5 = 60 \times 0.773 \times 6.66 \times 0.2565 \times \pi^2 \times 0.083 \times D_b \times (D_b - 0.083) \times 0.9 \times 0.3034 \times 0.953$$

$$D_b^2 - D_b \times 0.083 = \frac{1.5}{16.88}$$

$$D_b^2 - 0.083 - 0.088 = 0$$

$$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{0.083 \pm \sqrt{0.083^2 - 4 \times 1 \times (-0.088)}}{2}$$

$$= \frac{0.083 \pm \sqrt{0.083^2 + 0.352}}{2}$$



$$= 0.371$$
$$= 37.1 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa diameter barrel yang dibutuhkan agar dapat menghasilkan 1.5 kg *filament 3d printer* dalam 1 jam yaitu sebesar 37.1 mm.

#### 4.2 Desain Screw Extruder

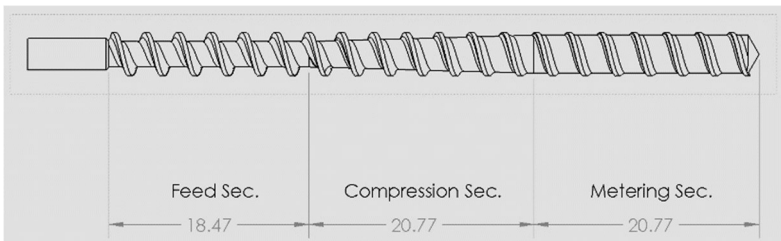
Dengan data yang diperoleh dari desain *single screw extruder* sebelumnya serta dari data yang diperoleh pada rancangan dasar *single screw extruder portable* maka diketahui rasio L/D dari screw baru adalah 600/37.1 atau L/D = 16.17. dengan melakukan *scaling down* dari data pada **Tabel 3.1** maka didapatkan data desain screw yang baru sebagai berikut pada **Tabel 4.1**

**Tabel 4.1** Data desain *screw* baru

Diameter	37.11 mm
Flighted Length	600 mm
Feed Section Length	184.62 mm
Compression Section Length	207.69 mm
Metering Section Length	207.69 mm
Compression Ratio	3 : 1
Constant Screw Pitch (Flight lead)	37.11 mm
Channel Depth Feed Section	8.30 mm
Channel Depth Metering Section	2.50 mm
Channel Width	33.40 mm
Flight Width	3.71 mm
Flight Angle	17.65
Screw Tip Angle	120 ~ 150



*Scaling down* desain ini dilakukan berdasarkan perbandingan antara diameter barrel yang didapatkan dari rancangan dasar terhadap ukuran tiap bagian *screw*. Kemudian dari data tersebut diatas maka dibuat desain 2 dimensi dan 3 dimensi dari *screw* dengan menggunakan aplikasi CAD yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** untuk gambar 2 dimensi *screw* tampak samping dan **Gambar 4.2** untuk gambar 3 dimensi *screw trimetric*,



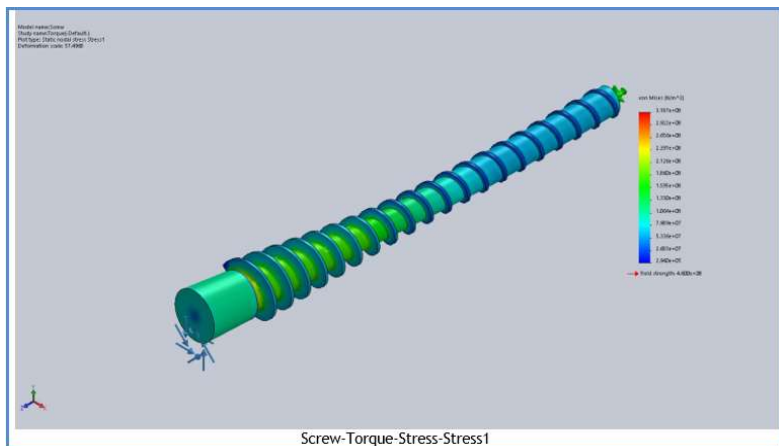
**Gambar 4.1** Desain 2 dimensi *screw*



**Gambar 4.2** Desain 3 dimensi *screw*

Setelah dilakukan desain 3D dari *screw* baru, maka untuk mengetahui bagaimana perilaku *screw* jika diberikan beban torsi maka dilakukan simulasi mekanik menggunakan *software Ansys Workbench Mechanical APDL* dengan kondisi yang ditetapkan yaitu material *screw* adalah AISI 4340 yang merupakan material yang umum digunakan sebagai *screw extruder*, dengan jumlah

nodes 27550 dan dengan *material assignment Structural Steel* kemudian menetapkan fixture atau tumpuan yaitu pada *screw face*, pembebanan sebesar 500Nm. didapatkan besar deformasi yang terjadi ketika diberikan beban torsi sebesar 500 Nm adalah minimal sebesar 0 mm dan maksimal 0.001 mm sehingga desain ini dianggap aman. Pada **Gambar 4.3** ditunjukkan deformasi benda ketika diberi beban torsi.



**Gambar 4.3** Deformasi ketika diberi pembebanan

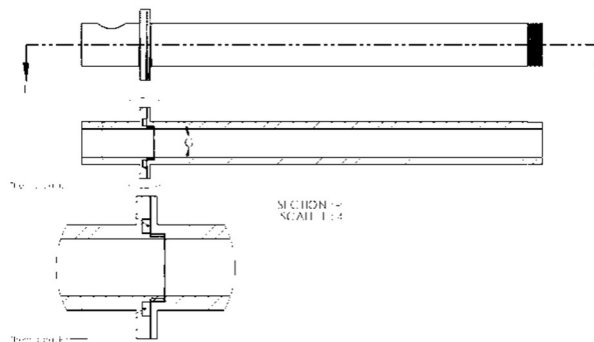
#### 4.3 Desain Barrel Extruder

Extruder barrel adalah sebuah tabung yang menyelimuti screw extruder. *Feed Throat* adalah bagian dari ekstruder dimana material pertama kali masuk kedalam screw channel. Umumnya, feed throat memiliki sistem watercooling yang berfungsi untuk menghindari naiknya temperatur pada feed throat yang menyebabkan polimer dapa menempel pada permukaan feed throat sehingga menghambat masuknya material kedalam screw channel. Extruder barrel hanya sebuah tabung dengan flange. Extruder barrel harus mampu menahan tekanan sebesar 70 Mpa dan harus memiliki kekuatan strukturan yang baik untuk menghindari



defleksi. Selain itu, screw extruder harus memiliki ketahanan aus pada dinding dalam barrel sehingga material yang digunakan pada extruder barrel konvensional yaitu bimetallic steel yang diproduksi dengan cara centrifugal casting. Dalam desain ini material barrel yang digunakan yaitu stainless steel 304. Diameter barrel yang digunakan sebesar 37.1 mm sesuai dengan perhitungan dengan ketebalan 10 mm.

Pada barrel bagian feed section, material yang masuk pada feed section harus dalam kondisi solid sehingga pada bagian feed section harus dijaga tetap rendah agar tidak mengganggu proses seperti penyumbatan pada bagian hopper karena material meleleh sebagian atau terjadinya penyumbatan pada screw feed section karena root depth mengecil sehingga untuk mengatasi hal ini, barrel pada bagian feed section dibuat terpisah dengan mekanisme penyambungan *screwing* dan dengan penambahan ruang kosong pada bagian sambungan sebagai *thermal barrier* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4** Desain barrel dan letak thermal barrier




setelah dilakukan perancangan geometri barrel dengan penambahan thermal barrier, kemudian dilakukan simulasi thermal

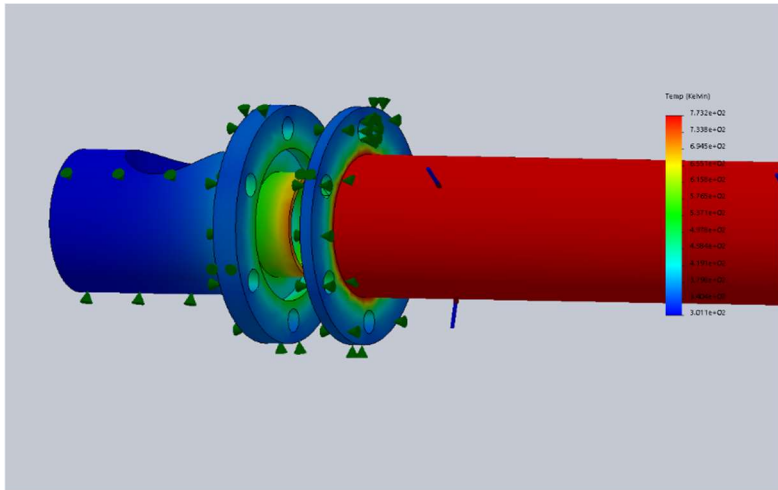




menggunakan *solidwork* untuk mengetahui efisiensi penurunan temperatur dari barrel pada compression section ke barrel dengan parameter simulasi material yang digunakan yaitu AISI 304 yang memiliki nilai *thermal conductivity* 16 W/(m.K) dan tipe joint antar material *Bonded*. dengan simulasi *thermal steady state* pada feed section dengan meletakkan sensor pada beberapa titik yaitu *inner barrel compression section*, *inner barrel feed section*, dan *feed port / feed section* dengan hasil pembacaan sensor masing-masing 198,191 °C, 27.746 °C, dan 27.763 °C. dari data tersebut, diketahui dengan penambahan *thermal barrier* pada barrel screw extruder dapat menurunkan temperatur hingga 86% sehingga dapat mengatasi *feed blocking* yang disebabkan oleh *polymer melting* pada feed throat dan feed section screw. Pada **Gambar 4.5** juga ditunjukkan distribusi temperatur pada bagian *flange joint* antara dua bagian barrel.

**Tabel 4.2** Data hasil simulasi thermal barrel extruder dengan penambahan thermal barrier

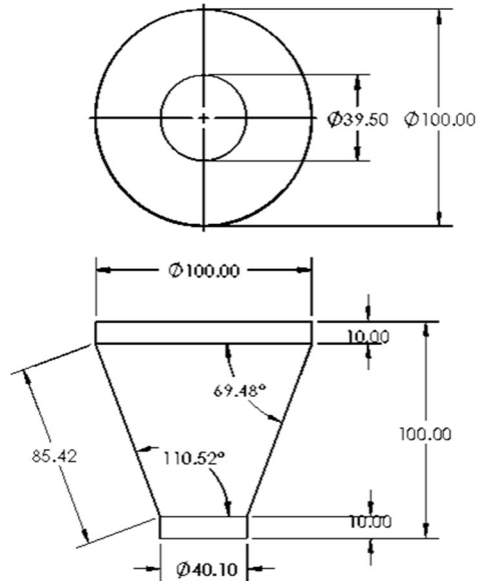
Sensor name	Location	Sensor Details
Feed port		Value : 27.7637 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA
Inner barrel feed sec.		Value : 27.7467 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA
Inner barrel compress & meter sec.		Value : 198.191 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA



**Gambar 4.5** Distribusi temperatur pada bagian flange joint

Dalam desain *feed port* / *feed throat* merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Miller, bahwa penambahan ukuran *feed port* sampai lebih dari 1 kali diameter (1D) tidak menunjukkan pengaruh terhadap besarnya *throughput* sehingga untuk hasil yang optimal pada desain *single screw extruder portable* ini, besar *feed port* = 1D yaitu 37.1 mm.

Dalam pembuatan desain hopper, menurut Miller, *feed hopper* dengan bentuk persegi memudahkan jika material yang akan diolah memiliki ukuran dan bentuk yang seragam, jika material feed yang digunakan berupa flakes, maka desain kerucut adalah yang terbaik sehingga bentuk hopper yang dipilih adalah kerucut dengan bentuk *feed throat* yang juga sama yaitu lingkaran untuk memperhalus transisi dari hopper yang berukuran besar ke *feed throat* yang kecil sehingga tidak menghambat masuknya material kedalam rongga barrel. Geometri desain hopper ditunjukkan pada **Gambar 4.6**.



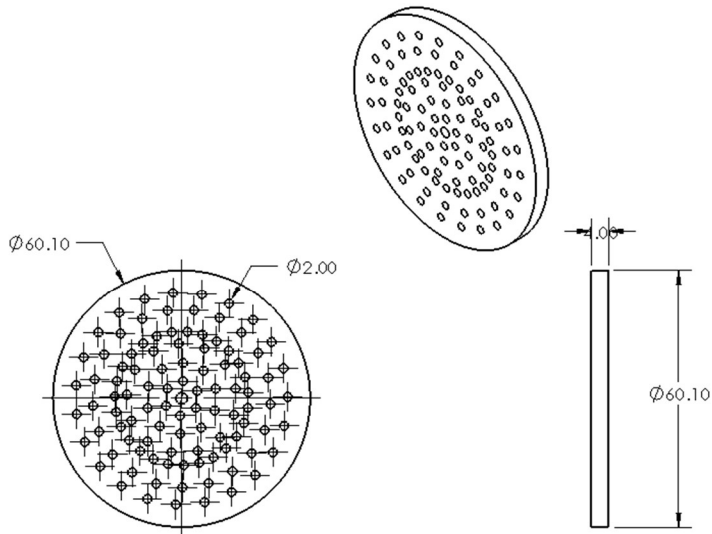
**Gambar 4.6** Geometri *feed hopper*

#### 4.4 Dies Assembly

Dies assembly terdiri dari *breaker plate*, *dies*, dan *dies housing*.

##### 4.4.1 Breaker Plate

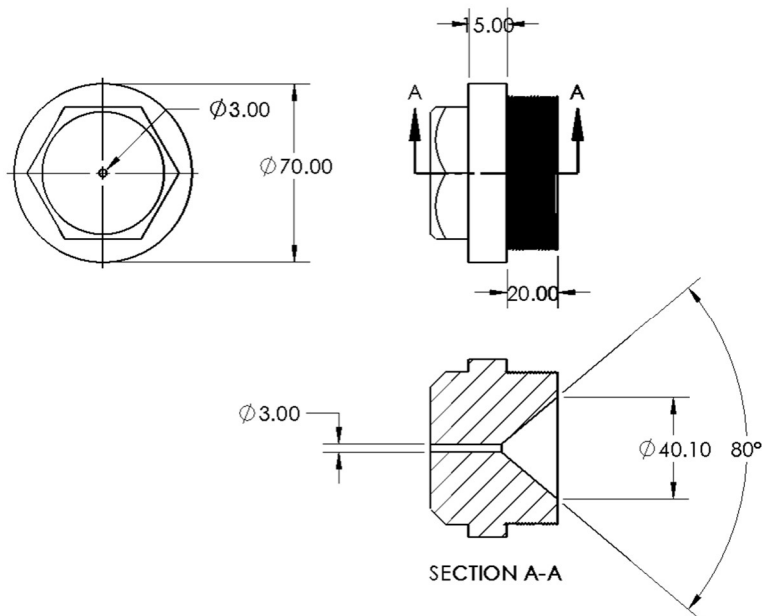
*Breaker plate* adalah salah satu bagian dari dies yang berfungsi untuk memastikan semua polymer sebelum masuk kedalam dies dalam keadaan melting dan juga untuk mengubah aliran melted polymer dari aliran yang berputar karena gaya dorong yang dihasilkan dari screw extruder menjadi aliran yang lurus searah dengan dies. Desain geometri breaker plate ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7** Geometri *breaker plate*

#### 4.4.2 Dies

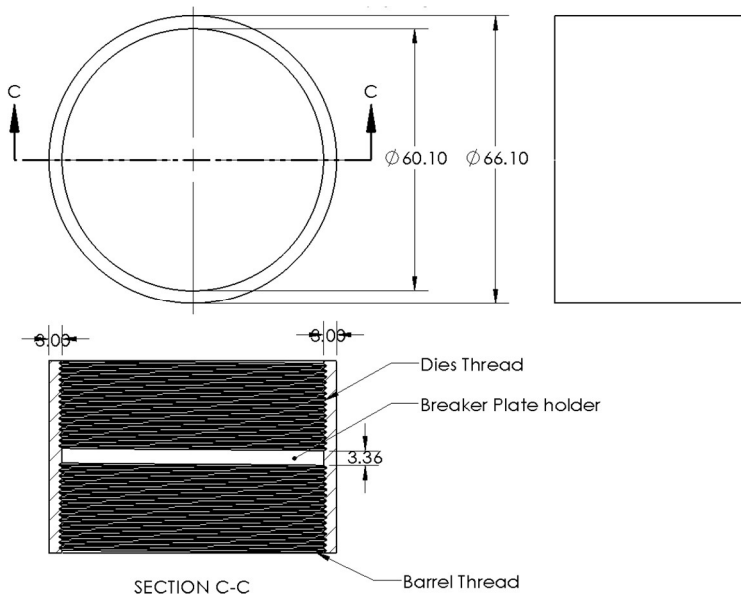
Dies adalah bagian yang akan membentuk produk akhir dari mesin single screw extruder yang pada penelitian ini yaitu untuk memproduksi filamen 3d printer. Desain geometri ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. pada desain ini, output dari dies ini berupa filamen dengan diameter dies end 3 mm. filamen dengan ukuran 3 mm kemudian ditarik menggunakan *filament puller* sehingga diameter akan mengecil. Ukuran akhir filamen bergantung dari kecepatan motor *filament puller*. Ukuran yang diharapkan sesuai dengan standar yang digunakan pada 3D Printer yaitu berdiameter 1.75 mm sehingga dibutuhkan penyesuaian pada kecepatan motor *filament puller*.



**Gambar 4.8** Geometri dies

#### 4.4.3 Dies Housing

*Dies housing* adalah bagian yang menghubungkan antara barrel dan dies serta sebagai tempat meletakkan *breaker plate*. fungsi dari dies housing juga untuk mempermudah dalam penggantian jenis, bentuk, ataupun ukuran dies. *Dies housing* dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. material yang digunakan pada komponen ini harus yang memiliki konduktifitas thermal yang baik karena merupakan komponen yang kontak langsung dengan elemen pemanas dan *dies* sehingga untuk komponen ini dipilih material Aluminium.



**Gambar 4.9** Geometri Dies Housing

#### 4.5 Motor Listrik

Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik DC dengan daya 350W dan voltase kerja 12 – 36 vdc. Karakteristik umum motor listrik DC yaitu memiliki torsi terbesar pada 50% RPM yaitu untuk motor listrik yang digunakan, yaitu pada RPM 1283. Torsi yang didapatkan pada kecepatan tersebut sebesar 0.8 Nm. Untuk menyesuaikan dengan kebutuhan rpm dari mesin ekstruder maka dilakukan perhitungan gear rasio

$$\text{Gear Ratio} = \frac{\text{Driver gear speed}}{\text{Driven gear speed}}$$

$$\text{Gear Ratio} = \frac{1283 \text{ rpm}}{6.66 \text{ rpm}} = 192.64 : 1$$



Karena nilai rasio terlalu tinggi, digunakan *direct gearbox* dengan rasio 9.78 sehingga sisa gear rasio menjadi

$$Gr1 = \frac{192.64}{9.78} = \mathbf{19.69 : 1}$$

Kemudian rasio tersebut digunakan sebagai dasar untuk mendapatkan kebutuhan *sprocket gear* pada mekanisme speed reduction *sprocket and chain*. Ditentukan terlebih dahulu jumlah mata sprocket pada motor listrik / *driver sprocket* yaitu 6 sehingga kebutuhan *driven sprocket* pada *screw extruder* dapat diketahui dengan perhitungan

$$\text{Driven Sprocket} = Gr \times \text{Driver Sprocket}$$

$$\text{Driven Sprocket} = 19.69 \times 6$$

$$\text{Driven Sprocket} = \mathbf{118.4 \text{ teeth}}$$

Sehingga didapatkan torsi setelah mekanisme reduksi gearbox

$$T1 = T0 \times Gr0 \times E\%$$

$$T1 = 0.8 \times 9.78 \times 96\%$$

$$\mathbf{T1 = 7.511 Nm}$$

Torsi setelah mekanisme reduksi *chain and sprocket*

$$T2 = T1 \times Gr1 \times E\%$$

$$T2 = 7.511 \times 19.69 \times 98\%$$

$$\mathbf{T2 = 115 Nm}$$

Jadi, torsi yang didapatkan pada Rpm 6.66 setelah melalui 2 kali proses *speed reduction* yaitu sebesar 115 Nm.



#### 4.6 Validasi Produk

Setelah dilakukan perancangan dan pembuatan mesin *single screw extruder portable* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10** kemudian dilakukan validasi produk untuk mengetahui apakah hasil perhitungan sesuai dengan hasil sebenarnya. Dilakukan proses ekstrusi dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan pada perhitungan sebelumnya. Dari hasil ekstrusi selama 60 menit, didapatkan extrudat sebanyak 1.3 Kg. sehingga dihitung nilai Absolute Error ( $E_A$ ) dan Relative Error ( $E_R$ ) sebagai berikut :

$$E_A = \text{Hasil Perhitungan} - \text{Hasil Sebenarnya}$$

$$E_A = 1.5 - 1.3$$

$$E_A = 0.2 \text{ Kg}$$

$$E_R = \frac{E_A}{\text{Hasil Sebenarnya}}$$

$$E_R = \frac{0.2}{1.3}$$

$$E_R = 0.15$$

$$E_R\% = 15\%$$



**Gambar 4.10** Mesin *Single Screw Extruder Portable*





Untuk memenuhi syarat agar produk filament dapat diaplikasikan pada 3D Printer maka dilakukan pengukuran diameter filament dengan mengambil sample sepanjang 1 meter untuk dilakukan pengukuran tiap 10 cm nya sehingga didapatkan data sebagai berikut :

**Tabel 4.3** Hasil pengujian distribusi diameter

Spesimen Uji	Diameter (mm)
1	1.75
2	1.77
3	1.75
4	1.75
5	1.74
6	1.74
7	1.75
8	1.75
9	1.75
10	1.75
<b>Rata-rata</b>	<b>1.75</b>

Dari data pengujian distribusi diameter pada filament 3D Printer yaitu 1.75 mm maka dapat dikatakan produk dapat diaplikasikan pada 3D Printer.

#### 4.7 Biaya Produksi

Perhitungan biaya produksi dilakukan dengan pengumpulan data operasi yang telah dihitung sebelumnya dan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan 1 kg *filament 3D Printer*.

Spool = Rp. 12.000

ABS Pellet / Kg = Rp. 11.500

Tariff Listrik / KWh = Rp. 586



$$\text{Power Mesin} = 0.612 \text{ KW}$$

$$\text{Kapasitas Produksi/jam} = 1.3 \text{ Kg}$$

Dicari waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk *filament 3D printer* untuk 1 *Spool* (2 Kg)

$$\frac{1 \text{ Jam}}{1.3 \text{ Kg}} = \frac{X}{2 \text{ Kg}}$$

$$1.3X = 2$$

$$X = 1.54 \text{ Jam}$$

Sehingga, total biaya listrik yang harus dibayarkan untuk produksi 1 *Spool Filament 3D Printer* adalah sebagai berikut :

$$\text{Power Mesin} \times \text{waktu operasi} \times \text{Tariff}$$

$$0.612 \times 1.54 \times 586$$

$$= \text{Rp. 552}$$

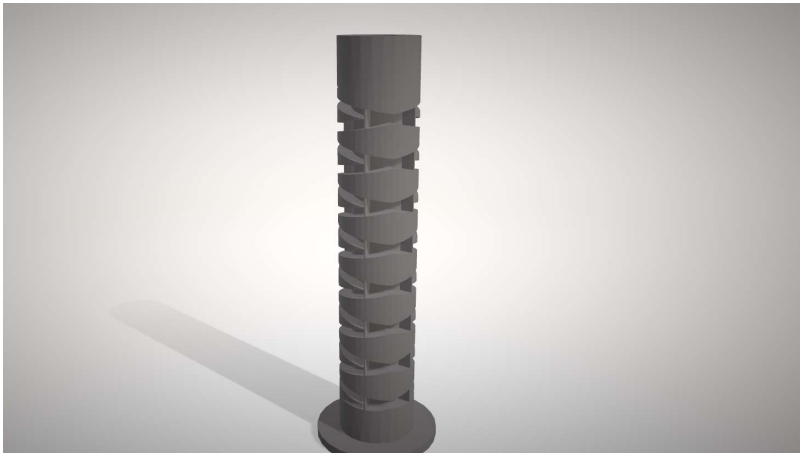
Kemudian dilakukan penjumlahan total pengeluaran yaitu listrik + feed material + *Spool* didapatkan hasil **Rp. 24.000 / 2 Kg** filament

#### 4.8 Filament Spool Guide

Setelah material polymer keluar dari dies extruder dalam bentuk kawat, kemudian dilakukan proses *spooling* yaitu proses penggulangan filament pada holder filament yang berbentuk silinder. Agar pada saat proses *spooling* filament tidak menumpuk

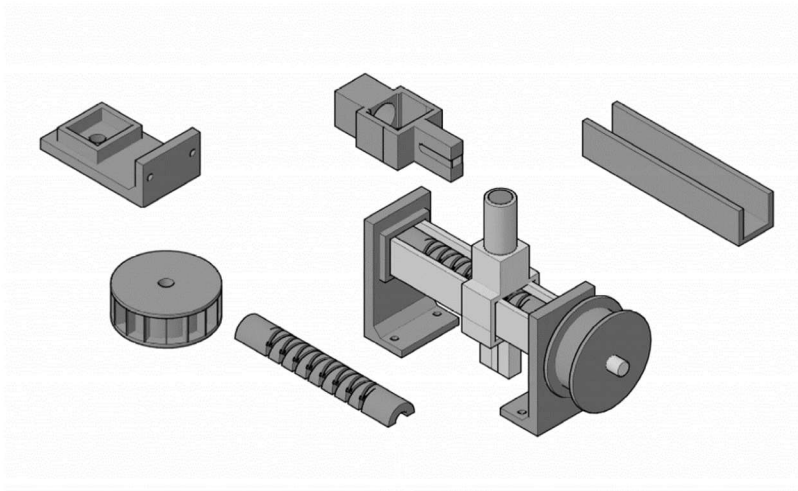


pada satu titik, kemudian dirancang suatu sistem *worm gear* yang berfungsi untuk mengarahkan filament agar pada saat proses *spooling* filament akan teratur pada holder silinder. Pada **Gambar 4.11** ditunjukkan desain worm gear yang berfungsi sebagai spool guide.



**Gambar 4.11** Desain worm gear

Kemudian dirancang sistem pendukung worm gear tersebut agar dapat berfungsi sesuai dengan desain maka dibuat assembly system yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12**.

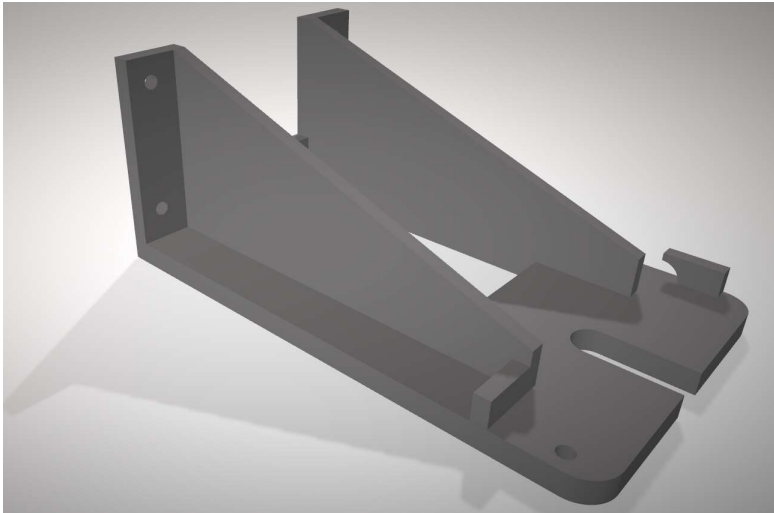


**Gambar 4.12** *Assembly Spool Guide*

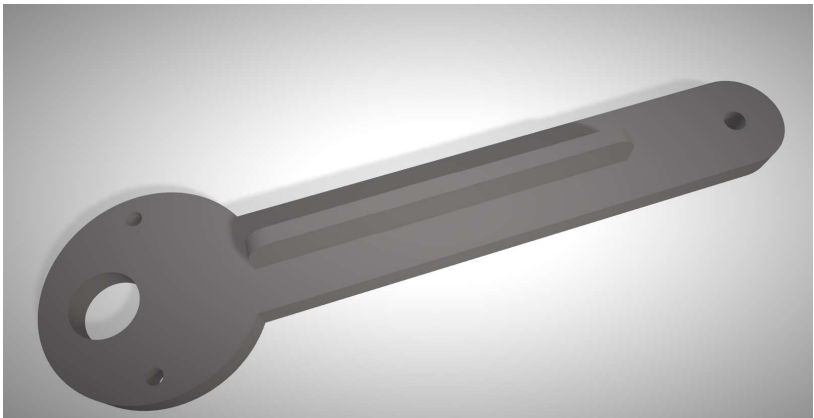
Assembly spool guide terdiri dari worm gear, side holder, channel, dan guide yang akan dirakit bersama dengan sistem ekstruder sehingga membentuk suatu plant mini produksi filament 3d printer.

#### **4.8 Filament Winder**

Filament winder adalah bagian yang berfungsi untuk melakukan proses penggulangan filament. Untuk membuat sistem produksi yang semi-otomatis maka dibuat rancangan sistem penggulangan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.13**, **4.14**. Pada **Gambar 4.13** ditunjukkan desain holder spool disc filament. Penyangga ini berfungsi sebagai tempat meletakkan spool disc filament sekaligus sebagai tempat motor penggerak spooling.



**Gambar 4.13** Spool disc holder

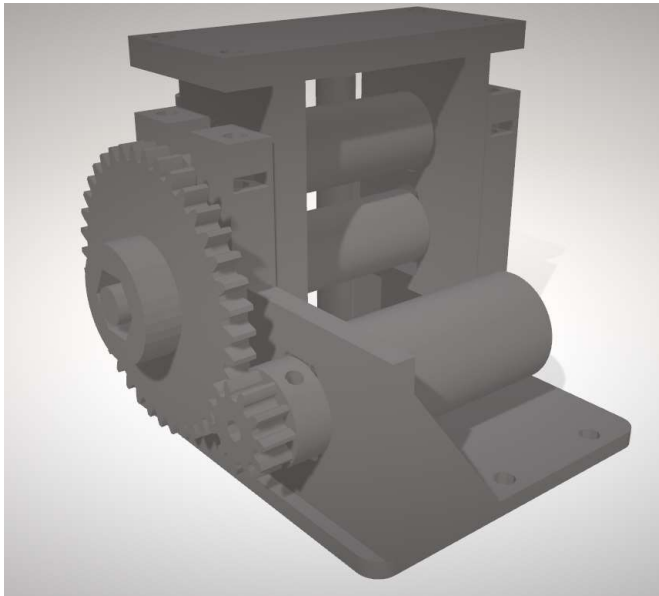


**Gambar 4.14** Motor arm



#### 4.9 Filament Puller

Filament puller adalah suatu sistem mekanik yang berfungsi untuk menarik throughput berupa kawat dari dies extruder. Karena ukuran lubang pada dies sebesar 3mm sedangkan syarat diameter filament agar dapat digunakan pada 3d printer pada umumnya adalah 1.75 mm, maka untuk mengatur diameter akhir yang diinginkan, digunakan filament puller ini dengan mengatur kecepatan motornya sehingga semakin tinggi kecepatan motornya, maka semakin kecil juga diameter akhir yang dihasilkan. Kecepatan motor ini dapat diintegrasikan langsung dengan sensor diameter sehingga dengan otomatis akan menaikkan dan menurunkan kecepatan motor *filament puller* sesuai dengan pembacaan sensor diameter. Adapun desain dari sistem filament puller ini ditunjukkan pada **Gambar 4.15**.



**Gambar 4.15** Desain *filament puller*.



#### 4.10 Total Kebutuhan Daya Listrik

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan oleh mesin *single screw extruder portable* ini, dilakukan pengumpulan data spesifikasi dari setiap komponen elektrik yang digunakan pada mesin *single screw extruder portable* ini. Terdapat 3 komponen yang menggunakan energi listrik pada mesin ini dan total daya nya ditunjukkan pada **Tabel 4.7**

**Tabel 4.3** Komponen elektrik dan total daya

Komponen	Jumlah	Daya (W)
DC Electric Motor	1	350
Band Heater	2	200
DC Geared Motor	2	12
PID	1	50
<b>Total Daya</b>		<b>612</b>

Sehingga total daya listrik yang dibutuhkan oleh mesin ini untuk beroperasi yaitu **612 Watt**.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Telah dirancang dan dibuat mesin *Single Screw Extruder Portable* untuk produksi filament 3D Printer ini yang diperoleh hasil sebagai berikut

##### **1. Spesifikasi Mesin**

No.	Komponen Mesin	Nilai
1	Dimensi (PxLxT)	(90x30x35) cm
	Panjang Single Screw Extruder	70 cm
	Panjang Filament Winding Process	20 cm
2	Kapasitas Produksi	1.5 Kg/Jam
3	Total daya listrik	612 Watt

2. Dengan menggunakan pellet ABS sebagai material input dari mesin ini, berdasarkan eksperimen yang dilakukan maka diketahui operasi yang tepat untuk produksi filament ABS adalah dengan ekstrusi pada temperatur 210 °C dengan kecepatan screw 5 RPM sehingga dihasilkan filament 3d printer siap pakai sebanyak 1.3 Kg dalam waktu 1 jam produksi. Sehingga terdapat error antara perhitungan dan kondisi ril sebesar 15%.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan analisa proses charging material dengan software modelling Discrete Element Modelling seperti EDEM untuk mengetahui proses optimal carging material sampai menjadi extrudat



2. Melakukan analisa ekonomi dalam proses produksi filament 3d printer menggunakan rancangan mesin ini.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kondisi operasi yang tepat untuk material *recycled ABS*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aaron d. Deutchman, Walter J. Michels and Charles E. Wilson .  
1975 . **“Machine Design Theory and Practice”** .  
Macmillan Publishing, USA
- A. H. P. Skelland . 1967 . **“Non-Newtonian Flow and Heat Transfer,”** Wiley, NY
- ASTM . **“Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurements,”** ASTM publications STP 470 B
- ASTM **“Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials from SAI Global”** ASTM publication D 1895b
- C. D. Han . 1976 . **“Rheology in Polymer Processing,”** .  
Academic Press, NY
- C. Rauwendaal . 2001 . **“Polymer Extrusion,”** 4th ed., Carl  
Hanser Verlag, Munich
- C. Rauwendaal. 2006 . **“New Developments in Extruder Screw Design,”** Plast. Technol. Asia, July, 14–17
- C. Maier . 1996 . **“Infrared Temperature Measurement of Polymers,”** Polym. Eng. Sci., 36, no. 11, 1502–1512
- D. B. Hoffman and N. Sarasohn. 1972. **“Plastics Design and Process”**. . 20–23
- D. W. van Krevelen . 1972 . **“Properties of Polymers, Correlations with Chemical Structure,”** Elsevier, NY

- G. M. Bartenev . 1981 . **“Friction and Wear of Polymers”** . Elsevier, NY
- H. Breuer, et al. . 1994 . **“CAMPUS Set for its Global Breakthrough,”** Kunststoffe, 84, 8, 1003–1012
- H. D. Baker, E. A. Ryder, and N. H. Baker, 1989 **“Temperature Measurement in Engineering,”** . Omega Press
- J. A. Brydson . 1981 . **“Flow Properties of Polymer Melts,”** 2nd edition, George Godwin Limited, London
- J. D. Lenk . 1980 . **“Handbook of Controls and Instrumentation,”** Prentice-Hall Inc.
- J. M. McKelvey. 1962 . **“Polymer Processing,”** . Wiley, NY
- K. D. Sabota . 1995 . D. R. Lawson, and J. S. Huizinga, **“Advanced Temperature Measurements in Polymer Extrusion,”** SPE ANTEC Tech. Papers, 2832–2842
- M. A. Spalding, J. Dooley, and K. S. Hyun . 1999 . **“The Effect of Flight Radii Size on the Performance of Single-Screw Extruders,”** SPE ANTEC, 190–194
- Natti S.Rao, Nick R. Schott . 2013 **“Understanding Plastic Engineering Calculation”,** Hanser, Cincinnati
- S. C. Cowin and M. Satake (Eds.) . 1978 . **“Continuum Mechanical and Statistical Approaches in the Mechanics of Granular Material,”** Proceedings U. S.-Japan Seminar, Sendai, Japan, Gakumutsu Bunken Fukyu-Kai

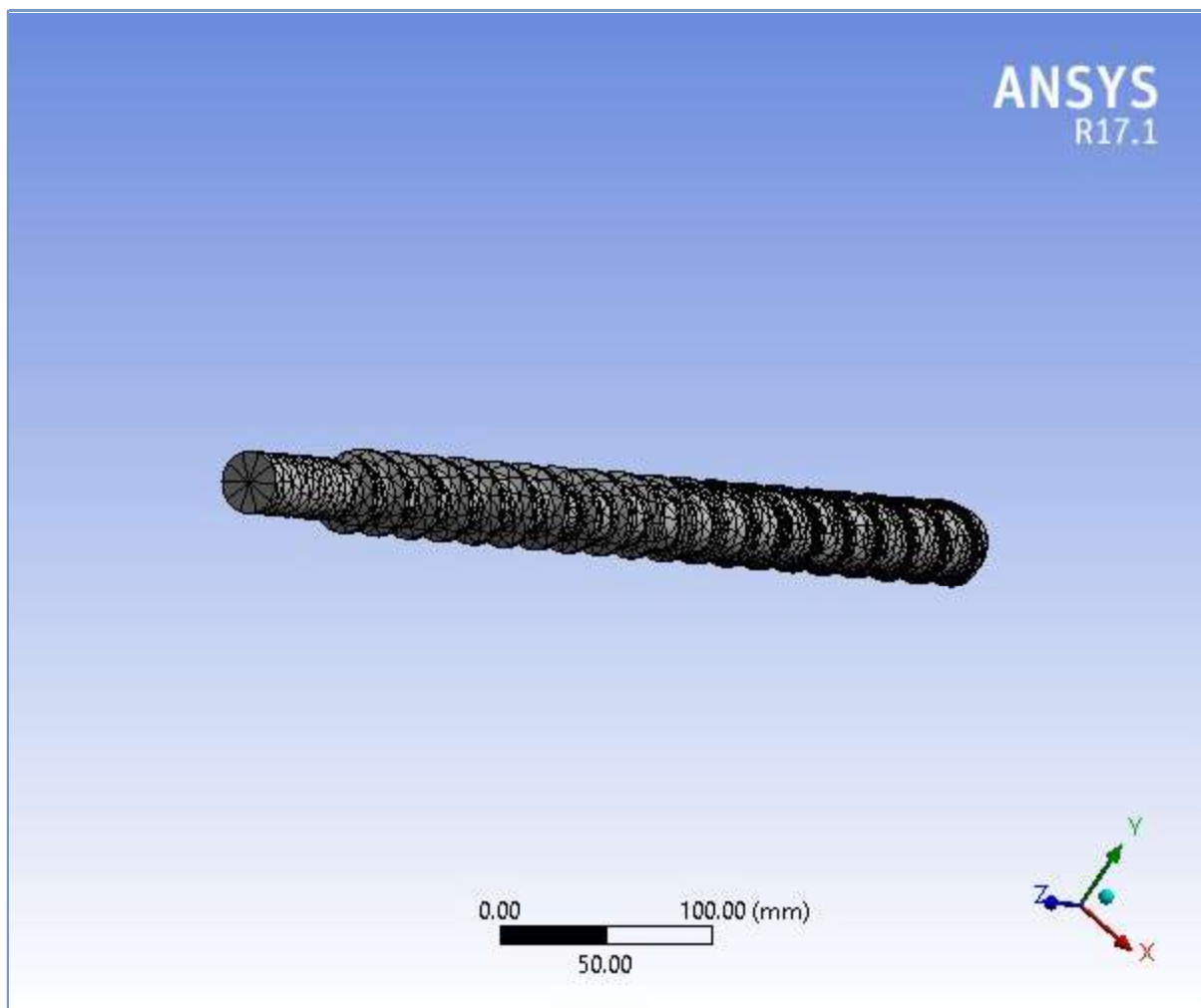
- S. Collings. 1982. **“Plastics Machinery & Equipment”**. VDI Publication. Duesseldorf, Germany
- W. A. Kramer. 1999. **“Motors and Drives for Extrusion Applications,”** SPE ANTEC, 268–272
- W. Miller . 1987 . **“Extruder Barrel Cooling,”** Conference Papers, 45th SPE ANTEC
- Z. Kamblowski . 1981 . **“Filtration of Polymer Melts,”** VDI Publication, Duesseldorf, Germany

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## Project

First Saved	Wednesday, June 20, 2018
Last Saved	Wednesday, June 20, 2018
Product Version	17.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No





# Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Solid](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
  - [Static Structural \(A5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(A6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (A4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp\WB_GIRSANG-PC_asus_9020_2 \unsaved_project_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	40. mm
Length Y	40. mm
Length Z	675. mm
<b>Properties</b>	
Volume	5.288e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	4.151 kg
Scale Factor Value	1.

Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	27550
Elements	15222
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\asus\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	40. mm
Length Y	40. mm
Length Z	675. mm

Properties	
Volume	5.288e+005 mm <sup>3</sup>
Mass	4.151 kg
Centroid X	3.2103e-002 mm
Centroid Y	1.4801e-003 mm
Centroid Z	-299.68 mm
Moment of Inertia Ip1	1.5321e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	1.5321e+005 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	578.62 kg·mm <sup>2</sup>
Statistics	
Nodes	27550
Elements	15222
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm
Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

## Mesh

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Fast

Span Angle Center	Medium
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Max Dual Layers in Thin Regions	No
Minimum Edge Length	2.6192e-002 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	27550
Elements	15222
Mesh Metric	None

## Static Structural (A5)

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

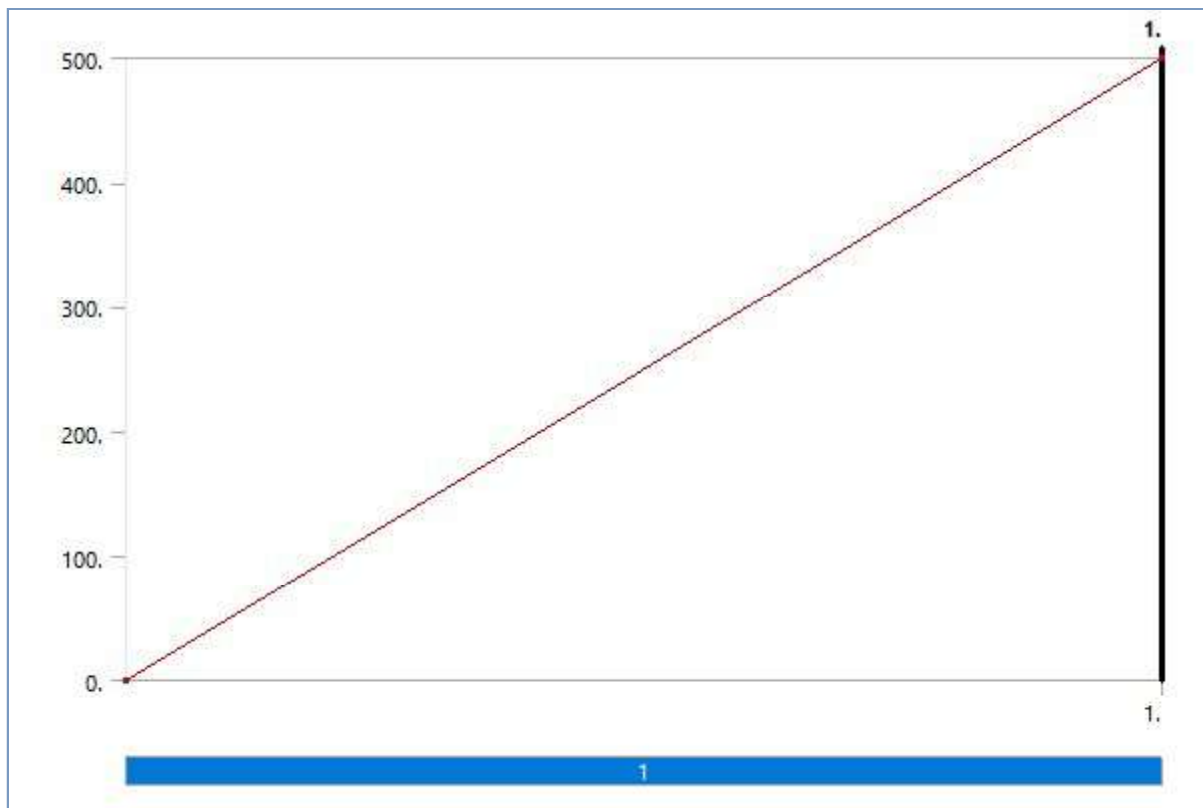
Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	

Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	G:\Bismillah TA\TA ter-fix\Ansys\Screw torsion_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mm

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	Fixed Support	Moment
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Moment
Suppressed	No	
Define By		Vector
Magnitude		500. N·mm (ramped)
Direction		Defined
Behavior		Deformable
Advanced		
Pinball Region		All

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Moment**



### ***Solution (A6)***

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	5. s
MAPDL Memory Used	168. MB
MAPDL Result File Size	12.688 MB
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

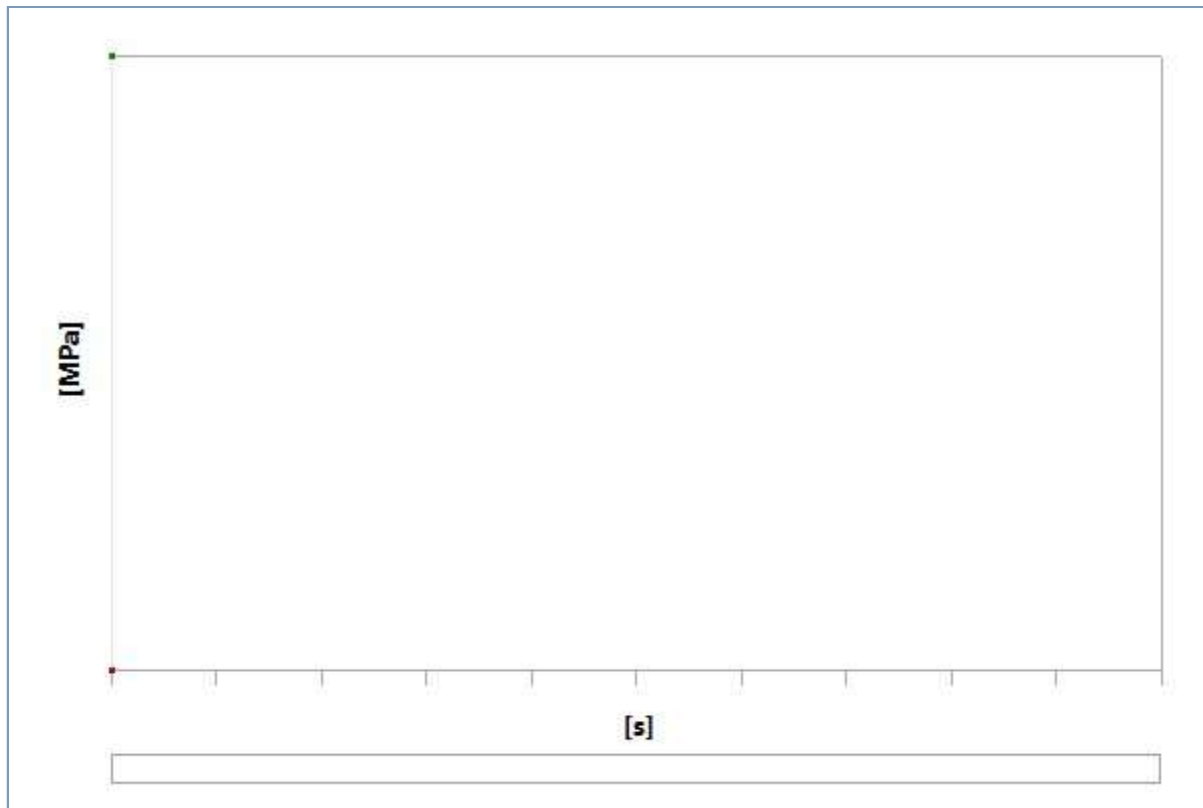
Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	

Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	Equivalent Stress	Equivalent Elastic Strain	Total Deformation
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	1.19e-003 MPa	7.334e-009 mm/mm	0. mm
Maximum	0.48136 MPa	2.6091e-006 mm/mm	1.0862e-003 mm
Minimum Occurs On	Solid		
Maximum Occurs On	Solid		
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

**FIGURE 2**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**

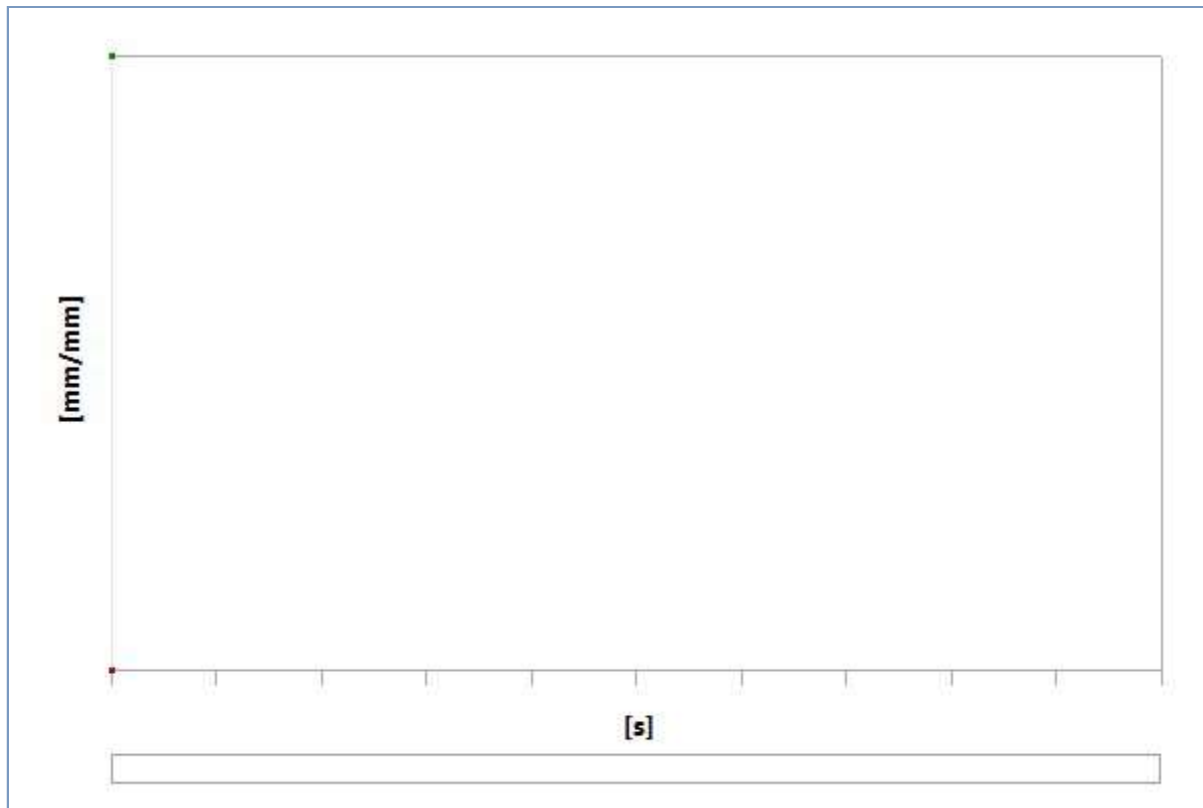


**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1.	1.19e-003	0.48136

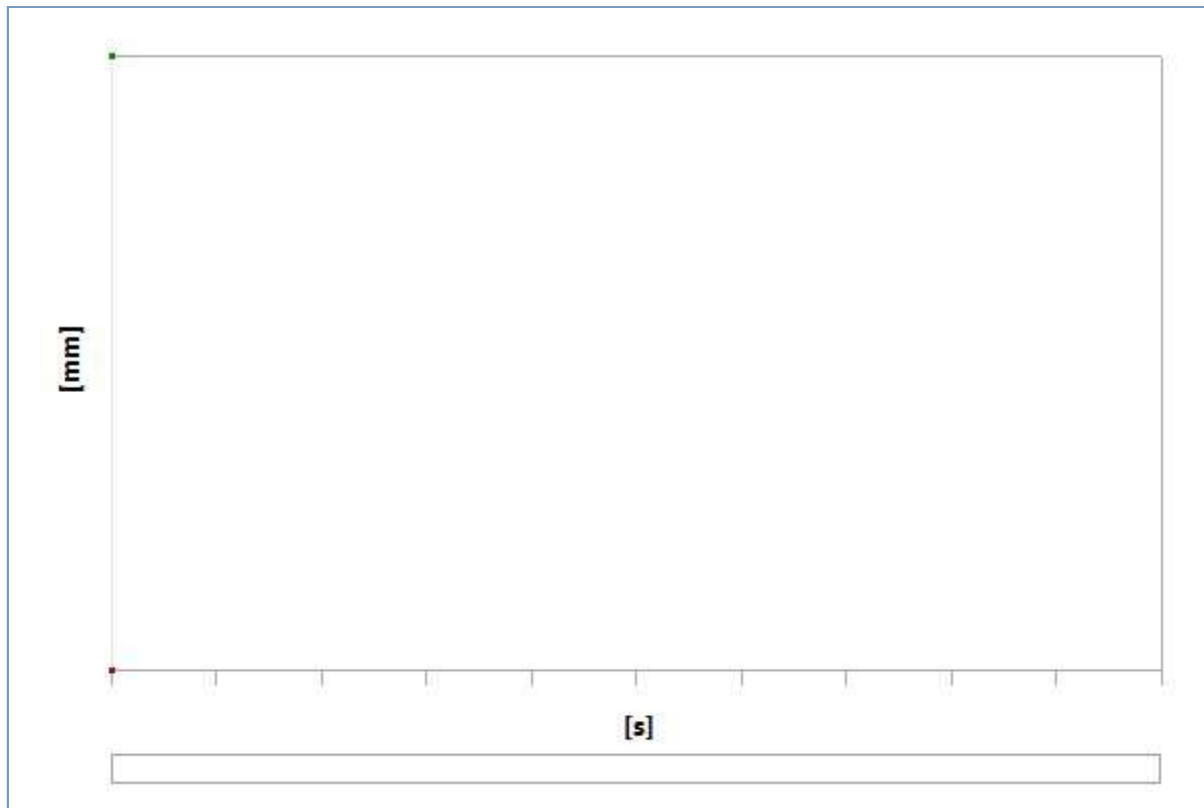
**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Elastic Strain**



**TABLE 13****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Elastic Strain**

Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]
1.	7.334e-009	2.6091e-006

**FIGURE 4****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**



**TABLE 14**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1.	0.	1.0862e-003

## Material Data

### Structural Steel

**TABLE 15**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7.85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

**TABLE 16**  
**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132	139	179

**TABLE 17**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0

**TABLE 18**

**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250

**TABLE 19****Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
470

**TABLE 20****Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
745

**TABLE 21****Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

**TABLE 22****Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

**TABLE 23****Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

**TABLE 24****Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

**TABLE 25****Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000



**Description**  
No Data

**Simulation of Assem1**

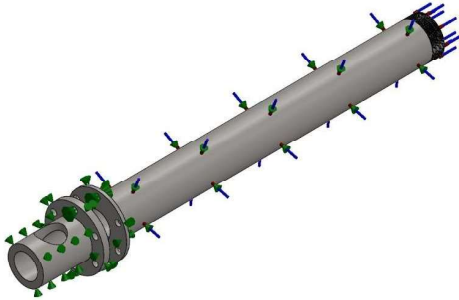
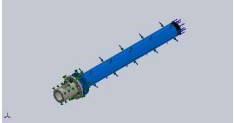
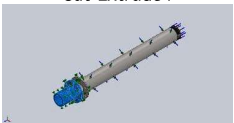
**Date:** Sunday, June 3, 2018  
**Designer:** Solidworks  
**Study name:** Thermal 1  
**Analysis type:** Thermal(Steady state)

**Table of Contents**

Description.....	1
Assumptions .....	2
Model Information .....	2
Study Properties .....	3
Units .....	3
Material Properties .....	3
Thermal Loads.....	4
Contact Information.....	4
Mesh information .....	5
Sensor Details .....	7
Study Results .....	8
Conclusion .....	8

## Assumptions

## Model Information

 Model name: Assem1 Current Configuration: Default			
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Thread2 	Solid Body	Mass:7.17662 kg Volume:0.000897078 m <sup>3</sup> Density:8000 kg/m <sup>3</sup> Weight:70.3309 N	G:\Bismillah T\TA ter-fix\Extruder deign insyaallah fix\Barrel\Barrel compress to meter.SLDPRT Jun 3 18:42:55 2018
Cut-Extrude4 	Solid Body	Mass:1.3518 kg Volume:0.000168975 m <sup>3</sup> Density:7999.99 kg/m <sup>3</sup> Weight:13.2476 N	G:\Bismillah T\TA ter-fix\Extruder deign insyaallah fix\Barrel\Barrel feed.SLDPRT Jun 3 18:47:28 2018

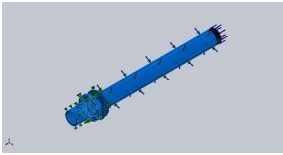
### Study Properties

Study name	Thermal 1
Analysis type	Thermal(Steady state)
Mesh type	Solid Mesh
Solver type	FFEPlus
Solution type	Steady state
Contact resistance defined?	Yes
Result folder	SOLIDWORKS document (G:\Bismillah TA\TA ter-fix\Extruder deign insyaallah fix\Assembly)

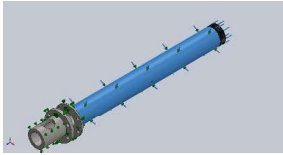
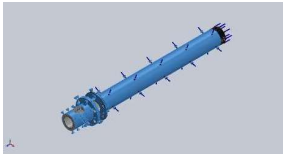
### Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m <sup>2</sup>

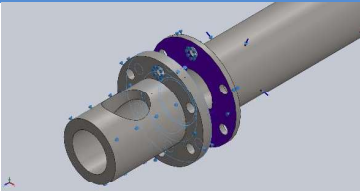
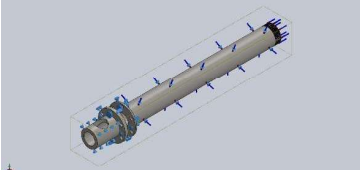
### Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<b>Name:</b> AISI 304 <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic <b>Default failure criterion:</b> Max von Mises Stress <b>Thermal conductivity:</b> 16 W/(m.K) <b>Specific heat:</b> 500 J/(kg.K) <b>Mass density:</b> 8000 kg/m <sup>3</sup>	SolidBody 1(Thread2)(Barrel compress to meter-1), SolidBody 1(Cut-Extrude4)(Barrel feed-2)
Curve Data:N/A		

## Thermal Loads

Load name	Load Image	Load Details
Temperature-1		<b>Entities:</b> 2 face(s) <b>Temperature:</b> 350 Celsius
Convection-1		<b>Entities:</b> 7 face(s) <b>Convection Coefficient:</b> 500 W/(m <sup>2</sup> .K) <b>Time variation:</b> Off <b>Temperature variation:</b> Off <b>Bulk Ambient Temperature:</b> 300.15 Kelvin <b>Time variation:</b> Off

## Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Contact Set-1		<b>Type:</b> Thermal Resistance <b>Entites:</b> 6 face(s) <b>Thermal Resistance:</b> Total <b>Value:</b> 0(K.m <sup>2</sup> )/W <b>Advanced:</b> Node to surface
Global Contact		<b>Type:</b> Bonded <b>Components:</b> 1 component(s) <b>Options:</b> Compatible mesh

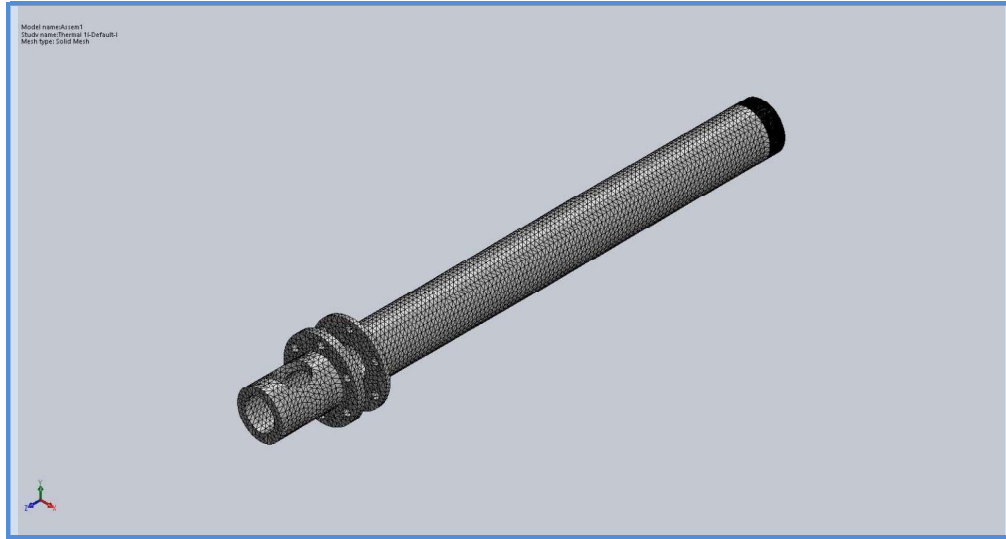
### Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	0.216243 in
Tolerance	0.0108122 in
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

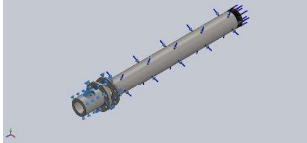

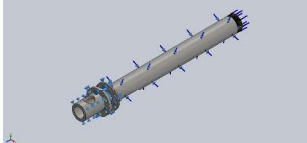
### Mesh information - Details

Total Nodes	105553
Total Elements	62163
Maximum Aspect Ratio	293.56
% of elements with Aspect Ratio < 3	77
% of elements with Aspect Ratio > 10	14.5
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:23
Computer name:	GIRSANG-PC

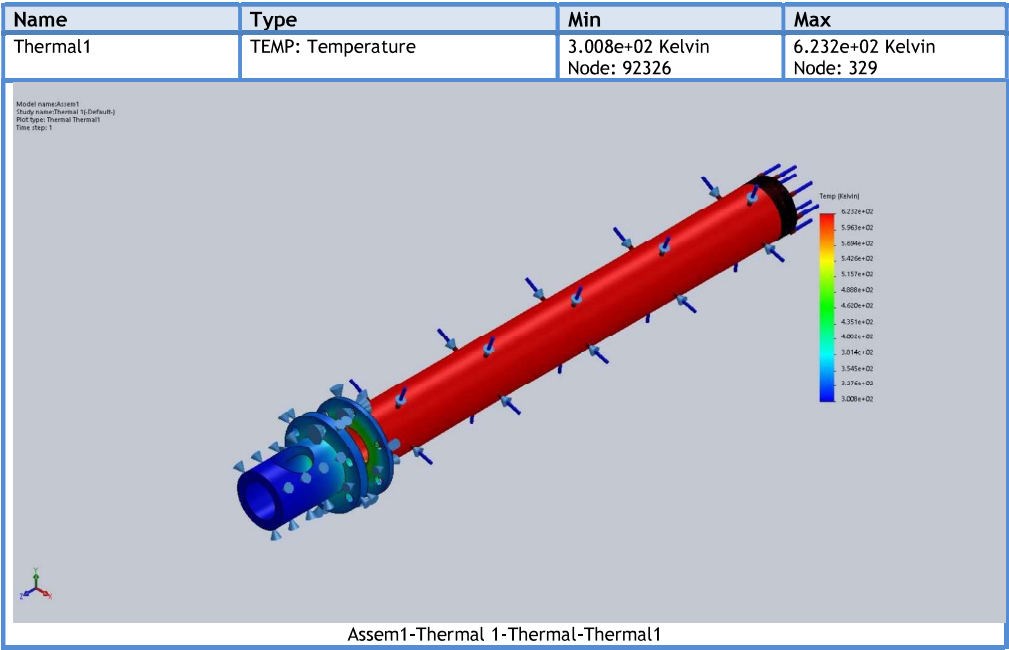




## Sensor Details

Sensor name	Location	Sensor Details
Feed port		Value : 27.7637 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA
Inner barrel feed sec.		Value : 27.7467 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA
Inner barrel compress & meter sec.		Value : 198.191 Celsius Entities :1 face(s) Result :Thermal Component :TEMP: Temperature Criterion :Min over Selected Entities Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA

Study Results



Conclusion

## BIODATA PENULIS



**Girsang Garsiman**, lahir di Dili, Timor Leste pada tanggal 25 Juni 1997. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Zainuddin dan Astuti V. Gobel. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formalnya dimulai dari SD Negeri 089 Masamba pada tahun 2008 dan kemudian menyelesaikan pendidikan selanjutnya di SMP Negeri 1 Masamba pada tahun 2011. Setelah itu penulis melanjutkan dan menyelesaikan pendidikan di SMA Negeri 2 Tinggimoncong pada tahun 2014. Ditahun yang sama, penulis diterima dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 2714100060. Selama masa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi sebagai staff Divisi Event BSO MB HMMT FTI-ITS kemudian menjadi Kepala Divisi Olahraga BSO MB HMMT FTI-ITS. Penulis juga aktif di Antasena Team ITS sebagai Kadiv Fuelcell and Electrical dan sebagai Technical Manager. Dalam bidang akademik, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Inovasi Material.

Dalam hal pengalaman kerja, penulis pernah mengikuti program kerja praktik di PT. Vale Indonesia, Tbk, Sorowako, Sulawesi Selatan di departement Process Technology selama satu bulan dengan judul tugas khusus “*Model Perhitungan Ketebalan Castable Rotary Kiln Berdasarkan Data Thermal Imaging*”.

Tugas akhir yang diambil penulis berjudul “Studi Rancang Bangun Mesin *Single Screw Extruder Portable* Untuk Aplikasi Produksi Filament 3D Printer”

*email : girsang.garsiman@gmail.com*